

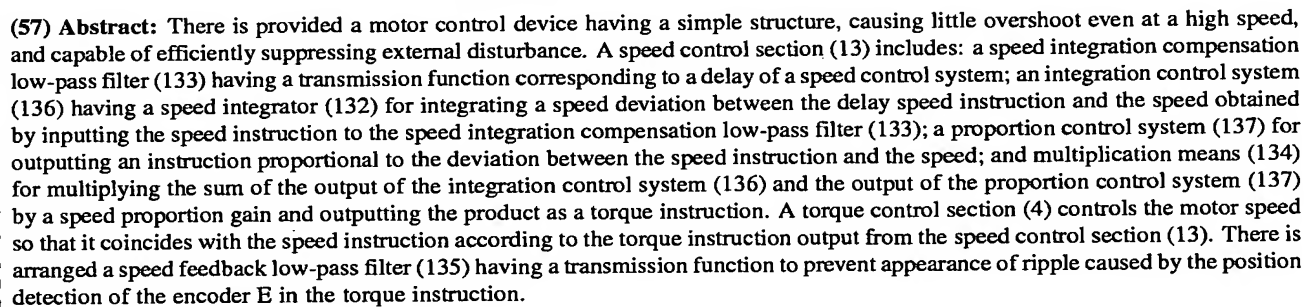


PCT

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000 1001 1002 1003 1004 1005 1006 1007 1008 1009 1010 1011 1012 1013 1014 1015 1016 1017 1018 1019 1020 1021 1022 1023 1024 1025 1026 1027 1028 1029 1030 1031 1032 1033 1034 1035 1036 1037 1038 1039 1040 1

- [續葉有]

(54) 発明の名称: モータの制御装置



[續葉有]



(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL,

SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

制御系136の出力と比例制御系137の出力とを加算したものに速度比例ゲインを乗じてトルク指令として出力する乗算手段134とから構成する。トルク制御部4は速度制御部13から出力されたトルク指令に従ってモータの速度が速度指令に一致するように制御する。エンコーダEの位置検出に起因するリップルが、トルク指令に現れるのを阻止する伝達関数を有する速度フィードバック・ローパスフィルタ135を設ける。

明 細 書

モータの制御装置

技術分野

本発明は、工作機械などに使用されるモータの制御装置に関し、特にモータの速度制御装置、モータの１次電流を制御する電流制御装置及び高速位置決め用モータの位置制御装置に好適なモータの制御技術に関するものである。

背景技術

従来のモータの速度制御装置としては、図２３に示すような制御装置がある（特開平１０－２５４５５０号公報の図１参照）。この装置では速度指令とエンコーダＥから出力された位置フィードバックを速度算出部２で変換して得た速度フィードバックと速度指令との偏差を、速度制御部３に含まれる減算器ＳＢで算出する。この偏差は、速度制御部３内で処理され、速度制御部３はトルク制御部４にトルク指令を出力する。トルク制御部４は、トルク指令通りのトルクがモータＭから出力されるようにモータに流れる電流を制御する。

通常、この装置における速度制御部３は比例積分制御（ＰＩ制御）部で構成されている。このＰＩ制御部では、速度指令と速度フィードバックの偏差を減算器ＳＢで算出し、その偏差をゲイン１の比例制御系を通して加算器ＡＤに入力する。積分制御系では、乗算器３１で偏差に積分ゲインを乗算した後、この偏差を速度積分器３２で積分して加算器ＡＤに入力する。加算器ＡＤは、比例制御系の出力と積分制御系の出力とを加算して、乗算器３３へと出力し、乗算器３３は加算器ＡＤ出力に比例ゲインを乗算してトルク指令として出力する。このように、速度制御部３をＰＩ制御部で構成することにより、速度の過渡偏差のみならず、定常偏差も抑制できる。また、この速度偏差の積分項により、モータに加わる外乱抑圧能力を向上させている。

一般的に、制御系の応答は有限であり、速度指令を出力しても速度フィードバックが応答するには時間がかかる。速度指令が出力されてモータは回転し始めるが、速度指令が出力されてから速度フィードバックが応答するまでの間（速度指

令に対応する速度フィードバックが現れるまでの間)、速度積分器 3 2 は積算を行ってしまう。そしてモータ M が一定速で回転している間に、この積算値は減少する。しかしながらモータ M の減速時にまた積算が行われ、残った積算値がすべて吐き出されてからモータ M は停止する。このため、従来の制御装置では、速度指令が 0 になった後でも、速度積分器の溜り量の分、速度の応答が遅くなっていた。その結果、速度フィードバックにオーバーシュートが発生するため、速度積分ゲインを高くできないという問題があった。

また従来のモータの電流制御装置としては、図 2 4 に示すような制御装置がある。この装置では、d q 軸それぞれの電流指令と電流検出器 D で検出した電流フィードバックとの電流偏差を減算手段 S B a, S B b で算出し、それぞれの電流偏差を電流制御器 4 a, 4 b に通して d 軸電圧指令、q 軸電圧指令を得る。そしてそれぞれの電圧指令を、座標変換器 1 5 a で d q 変換した後に、2 相 3 相変換し、変換された指令に基づいて PWM インバータ 1 7 によりモータ M を駆動する。なお、電流フィードバックは、電流検出器 D で検出された 3 相電流を座標変換器 1 5 b において d q 変換される。座標変換器 1 5 b は、エンコーダ E の回転位置に応じた信号を発生する信号発生手段 1 8 により、3 相 2 相変換及び d q 変換を実行する。

通常、この装置における電流制御器 4 a, 4 b は P I 制御器で構成されている。例えば電流制御器 4 a は、図 2 5 に示すように電流指令と電流フィードバックとの電流偏差を減算手段 S B a で算出し、この電流偏差に乗算器 1 9 1 で積分ゲインを乗算し、この乗算された値を電流積分器 1 9 3 で積分演算する積分制御系 (I 系) と、減算手段 S B a で算出した電流偏差を定数倍する比例制御系 (P 系) とから構成されている。電流制御器 4 a は更に積分制御系と比例制御系の出力とを加算手段 A D a で加算し、加算値に乗算手段 1 9 5 で比例ゲインを乗算して電圧指令を出力する。このように、電流制御器を P I 制御で構成することにより、電流の過渡偏差のみならず、定常偏差も抑制できる。

一般的に、制御系の応答は有限であり、電流指令を出力してもモータ電流が応答するには時間がかかる。電流指令が出力されてモータには電流が流れ始めるが、電流制御器 4 a から電圧指令が出力されてからモータ電流が応答するまでの間

、電流積分器 193 は積算を行ってしまう。このため、従来の電流制御装置では、電流積分器 193 の溜り量の分、電流の応答が遅くなり、オーバーシュートが発生したりしていた。

一方、特開平 8-66075 号公報に示される制御装置では、電流フィードバックの遅れを電流指令の変化量と、モータインダクタンスとモータ抵抗から算出し、この遅れを電流偏差部に加算することにより補償を行っている。しかし、電流指令の変化量などの微分成分は、指令応答を振動的にし易く、滑らかな制御の実現にはあまり好ましくない。また、モータインダクタンスやモータ抵抗などの定数が必要であり、さらにモータインダクタンスは、モータに流す電流の大きさにより値が変わり、モータ抵抗は温度により値が変化してしまう。従って、モータ電流の大きさや、モータ温度を考慮した補償が必要になってくる。

従来のモータの位置制御装置としては、図 26 に示すような制御装置がある〔特開平 10-254550 号公報の図 1 参照〕。この装置では位置指令と位置フィードバックの偏差が位置制御部に含まれる減算器で算出され、この偏差が位置制御部で処理されて速度指令として出力される。そしてエンコーダ E から出力された位置フィードバックを速度算出部 2 で変換して得た速度フィードバックと速度指令との偏差を、速度制御部 3 に含まれる減算器で算出する。この偏差は、速度制御部 3 内で処理され、速度制御部 3 はトルク制御部 4 にトルク指令を出力する。トルク制御部 4 は、トルク指令通りのトルクがモータ M から出力されるようにモータ M に流れる電流を制御する。

通常、この装置における位置制御部 1 は比例制御（P 制御）部として構成されており、速度制御部 3 は比例積分制御（P I 制御）部で構成されている。従来の速度制御部 3 を構成する P I 制御部は、図 27 に示す構成を有している。この P I 制御部では、速度指令と速度フィードバックとの偏差を減算器 S B で算出し、その偏差をゲイン 1 の比例制御系を通して加算器 A D に入力する。積分制御系では、乗算器 31 で偏差に積分ゲインを乗算した後、この偏差を速度積分器 32 で積分して加算器 A D に入力する。加算器 A D は、比例制御系の出力と積分制御系の出力とを加算して、乗算器 33 へと出力し、乗算器 33 は加算器 A D の出力に比例ゲインを乗算してトルク指令として出力する。このように、速度制御部 3 を

P I 制御部で構成することにより、速度の過渡偏差のみならず、定常偏差も抑制できる。

また特開平 3 - 1 5 9 1 1 号公報には、位置指令を微分して位置のフィードフォワード量を求め、位置ループ制御で得られた制御量に上記フィードフォワード制御量を加算して速度指令とし、位置のフィードフォワード制御量を微分して得られる速度のフィードフォワード制御量を速度ループ制御によって得られる値に加算して電流指令とすることにより、応答性を高めて安定したサーボ系を得るサーボモータの制御方法が開示されている。

従来の制御装置では、フィードフォワード・ゲインを上げることにより追従性は改善されるが、フィードフォワード・ゲインを 1 0 0 % まで上げるとオーバーシュートが大きくなるという問題があった。オーバーシュートは加工品質を劣化させるので、できるだけ抑制する必要がある。図 1 5 は従来の制御装置において、フィードフォワード・ゲインを 0 % とした時の位置制御動作をシミュレーションしたものである。このように、フィードフォワード・ゲインが小さいと、オーバーシュートは小さいが、図 1 7 のようにフィードフォワード・ゲインを 1 0 0 % にすると、オーバーシュートが大きくなる。このため、従来は図 1 6 のように、5 0 % 程度のフィードフォワード・ゲインにし、オーバーシュートが大きくならない範囲で、追従性を改善していた。

制御理論的には、フィードフォワード制御では、制御対象の特性がわかっているときに、制御量が目標値に一致するよう操作量を逆算するのが良い。従来の制御系において、位置制御を行う場合の制御対象を速度制御系と見ると、操作量は速度指令であり、制御量は位置である。速度制御系を最も簡単なモデルで近似すると、一次遅れ系で表すことができ、制御対象の逆関数をとると一次進みとなる。従来はこれを一定の保証で行っていたため、高次の遅れ分に対する補償ができずオーバーシュートを生じていた。

また、もう一つの要因として、位置制御器から出力される速度指令の問題がある。一般的に、制御系の応答は有限であり、速度フィードフォワード指令を出力しても速度フィードバックが応答するには時間がかかる。速度フィードフォワード指令が出力されてモータは駆動を開始するが、速度フィードフォワード

指令が出力されてから速度フィードバックが応答するまでの間に生ずる位置偏差により、位置制御器から速度指令を出力してしまう。そして、モータが一定速で回転している間はこの位置偏差は減少するが、モータ減速時にまた位置偏差を生じ速度指令が出力される。

このように、位置偏差により生じた速度指令が速度フィードフォワード指令に加算されるため、本来必要とする速度指令以上の速度指令が与えられ、オーバーシュートを生じていた。

更に別の要因として速度制御器の問題がある。速度制御器は、通常、PI制御で構成されており、図27に示すような構成になっている。図15乃至図17は従来の速度制御器を用いた場合のシミュレーション結果である。制御系の応答が有限であるため、速度指令が与えられても、速度フィードバックが応答するまでには時間がかかり、この間に速度積分器は積算を行っている。この積分器の充放電により速度制御器の時間応答が低下しており、これによってもオーバーシュートが生じていた。以上のように、従来の制御装置では、フィードフォワード系の関数を比例系で構成していたこと、また、速度系の応答遅れを考慮せずに位置制御系が組まれていたこと、速度制御器が速度制御系の応答を考慮せずに組まれていたことにより、オーバーシュートを生じてしまい、フィードフォワード・ゲインを100%まで上昇させることができなかった。このため、追従性の向上には限度があるという問題があった。

本発明は、上記課題を解消するためになされたものであり、その目的は、オーバーシュートが少ないモータの制御装置を提供することにある。

本発明の他の目的は、オーバーシュートが少なく、高速で外乱抑圧能力に優れたモータの速度制御装置を提供することにある。

本発明の目的は、モータパラメータを追加することなく電流制御系の電流応答を高速化することができ、オーバーシュートが少ない電流制御装置を提供することにある。

本発明の目的は、オーバーシュートが少なく、フィードフォワード・ゲインを100%まで上昇させることを可能にし、追従性を高めたモータ位置制御装置を提供することにある。

発明の開示

本発明のモータ制御装置は、制御対象であるモータの位置を検出する位置検出部と、位置検出部により検出されたモータの位置からモータの速度を算出する速度算出部と、比例積分制御により、速度算出部からフィードバックされた速度と速度指令とが一致するようにトルク指令を出力して速度制御を行う速度制御部と、トルク指令に基づいてトルク制御を行うトルク制御部とを備えている。

本発明の制御装置においては、速度制御部を、速度制御系の遅れに相当する伝達関数を有する速度積分補償ローパスフィルタと、速度指令を速度積分補償ローパスフィルタに入力して得た遅延速度指令と速度との速度偏差を積分する速度積分器を含んで構成された積分制御系と、速度指令とモータの速度との差に比例した指令を出力する比例制御系と、積分制御系の出力と比例制御系の出力とを加算する加算手段と、加算手段の出力に速度比例ゲインを乗じてトルク指令を得る乗算手段とから構成する。なお比例制御系において速度比例ゲインを速度偏差に乗算し、積分制御系において制御中の演算値に速度比例ゲインを乗じて出力するようにしてもよい。

本発明のように速度積分補償ローパスフィルタを用いれば、速度制御系の遅れに相当する遅れを持った速度指令と実際に遅れている速度フィードバックの速度との偏差はゼロに近いものとなる。そのため速度積分器の溜まり量をほぼゼロにして、速度フィードバックのオーバーシュートを低減することができる。

位置検出部（例えばエンコーダ）の精度が悪い場合には、量子化誤差や位置誤差が原因になったリップルが速度フィードバックに含まれることがある。そこでこのような場合に対処するためには、位置検出部の量子化誤差及び／または位置誤差が原因となって発生するリップルが、トルク指令に現れるのを阻止する伝達関数を有する速度フィードバック・ローパスフィルタを設けるのが好ましい。この場合には、速度を速度フィードバック・ローパスフィルタに入力して得たフィルタ処理後の速度と速度指令との偏差を求める減算手段を含んで比例制御系を構成する。なお位置検出部として、精度及び分解能の高いものを用いれば、位置誤差も小さくなるため、このような構成を採用する必要はない。

また本発明は、制御対象であるモータを流れるモータ電流を検出する電流検出器と、電流検出器が検出したモータ電流に基づく電流フィードバックと電流指令との電流偏差に基づいて電圧指令を出力する電流制御器と、電圧指令に基づいてモータにモータ電流を供給する駆動手段とを備えたモータの制御装置を対象とする。本発明においては、電流制御器を、電流制御系の遅れに相当する遅れまたは伝達関数を有する電流制御側遅れ補償ローパスフィルタと、電流指令を電流制御側遅れ補償ローパスフィルタに入力して得た遅延電流指令と電流フィードバックとの電流偏差を積分する電流積分器を含んで構成された積分制御系と、電流指令と電流フィードバックとの電流偏差に比例した指令を出力する比例制御系と、積分制御系の出力と比例制御系の出力とを加算する加算手段と、この加算手段の出力に電流比例ゲインを乗じて電圧指令を得る乗算手段とから構成する。

なお比例制御系において電流比例ゲインを電流偏差に乗算し、積分制御系において制御中の演算値に電流比例ゲインを乗じるようにしてもよい。

本発明のように電流制御側遅れ補償ローパスフィルタを用いれば、電流制御系の遅れに相当する遅れを持った電流指令と実際に遅れている電流フィードバックとの電流偏差はゼロに近いものとなる。そのため電流積分器の溜まり量をほぼゼロにできる。その結果オーバーシュートを低減することができる。

更に本発明は、制御対象であるモータの位置を検出する位置検出部と、モータの速度を算出する速度算出部と、位置検出部からフィードバックされたモータの位置と位置指令とが一致するように速度指令を出力して位置制御をする位置制御部と、比例積分制御により、速度算出部からフィードバックされた速度と速度指令とが一致するようにトルク指令を出力して速度制御を行う速度制御部と、トルク指令に基づいてトルク制御を行うトルク制御部とを備えたモータの制御装置を対象とする。位置制御部は、位置指令と位置検出部により検出した位置との位置偏差を求める減算手段と、位置偏差に位置比例ゲインを乗算する位置ループ乗算手段と、位置指令を微分する微分器と、微分器の出力にフィードフォワード・ゲインを乗算するフィードフォワード・ゲイン乗算手段と、フィードフォワード・ゲイン乗算手段の出力を比例微分制御して速度制御系の遅れを補償する比例微分手段と、位置指令の量子化誤差によるリップルを除去する伝達関数を有し

て、比例微分手段の出力と前記フィードフォワード・ゲイン乗算手段の出力との加算値をフィルタ処理するフィードフォワード・ローパスフィルタと、フィードフォワード・ローパスフィルタの出力と位置ループ乗算手段の出力とを加算して速度指令を出力する加算手段とを備えている。

本発明のように位置制御部でフィードフォワード乗算出力を比例微分制御すると、一次進みの特性を得ることができて、速度制御系の遅れを補償し、位置指令に対する追従性を改善できる。また、速度制御側遅れ補償ローパスフィルタを用いると、速度制御系の遅れに相当する遅れを持った速度指令と実際に遅れている速度フィードバックの速度との偏差をゼロに近いものとして、速度積分器の溜まり量をほぼゼロにできる。またフィードフォワード・ゲインを100%に上昇させた場合でもオーバーシュートの小さい制御系を構成することができ、より追従性を高めた位置制御が実現できる。またフィードフォワード・ローパスフィルタを用いれば、位置指令部が原因となって発生する量子化誤差に基づくリップルが速度指令それ自体に含まれるのを阻止することができる。

また速度制御系の遅れに相当する伝達関数を有する位置制御側遅れ補償ローパスフィルタを更に設け、この位置制御側遅れ補償ローパスフィルタを通った位置指令と位置フィードバックの位置との位置偏差を位置ループ乗算手段に入力するようにしてもよい。また位置指令を微分する微分器の出力と位置の微分値の偏差を積分器で積分して位置偏差を求める場合には、速度制御系の遅れに相当する伝達関数を有する位置制御側遅れ補償ローパスフィルタを微分器と積分器との間に配置し、位置制御側遅れ補償ローパスフィルタを通った微分器の出力と位置の微分値との偏差を積分器に入力するようにしてもよい。

このような位置制御側遅れ補償ローパスフィルタを設けることにより、加速時において位置制御部に入力される位置指令と位置フィードバックとがほぼ同時期に立ち上がるようにする。その結果、位置制御部からの速度指令はかなり小さい値になる。このような構成を採用すると、速度フィードフォワード・ゲインを1または1に近い値にすることができ、位置指令に対する追従性を改善することができる。

また本発明においては、速度制御部を、速度制御系の遅れに相当する伝達関数

を有する速度制御側遅れ補償ローパスフィルタと、速度指令を速度制御側遅れ補償ローパスフィルタに入力して得た遅延速度指令と速度との速度偏差を積分する速度積分器を含んで構成された積分制御系と、速度指令と速度との差に比例した指令を出力する比例制御系と、積分制御系の出力と比例制御系の出力とを加算する加算手段と、この加算手段の出力に速度比例ゲインを乗じてトルク指令として出力する乗算手段とから構成する。なお比例制御系において速度比例ゲインを速度偏差に乗算し、積分制御系において制御中の演算値に速度比例ゲインを乗じて出力するようにしてもよい。本発明のように速度制御側遅れ補償ローパスフィルタを用いれば、速度制御系の遅れに相当する遅れを持った速度指令と実際に遅れている速度フィードバックの速度との偏差はゼロに近いものとなる。そのため速度積分器の溜まり量をほぼゼロにして、位置指令に対する追従性を改善できる。

位置検出部（例えばエンコーダ）の精度が悪い場合には、量子化誤差や位置誤差が原因になったリップルが速度フィードバックに含まれることがある。そこでこのような場合に対処するためには、位置検出部の量子化誤差及び／または位置誤差が原因となって発生するリップルが、トルク指令に現れるのを阻止する伝達関数を有する速度フィードバック・ローパスフィルタを設けるのが好ましい。この場合には、速度を速度フィードバック・ローパスフィルタに入力して得たフィルタ処理後の速度と速度指令との偏差を求める減算手段を含んで比例制御系を構成する。なお位置検出部として、精度及び分解能の高いものを用いれば、位置誤差も小さくなるため、このような構成を採用する必要はない。

位置制御部は、位置指令と位置検出部により検出した位置との位置偏差を求める減算手段と、この位置偏差に位置比例ゲインを乗算する位置ループ乗算手段とから構成するのが好ましい。この場合において、位置制御部は、位置指令を微分する微分器と、微分器の出力にフィードフォワード・ゲインを乗算する乗算手段と、位置指令の量子化誤差によるリップルを除去する伝達関数を有するフィードフォワード・ローパスフィルタとを更に備えているのが好ましい。また、位置制御部は、位置指令を微分する微分器とこの微分器の出力にフィードフォワード・ゲインを乗算した出力を、更に比例微分制御して速度制御系の遅れを補償する微分手段の出力と、前記フィードフォワード・ゲインの乗算手段の出力と

を加算した出力をフィードフォワード・ローパスフィルタによりフィルタ処理するように構成してもよい。

図面の簡単な説明

図 1 は、本発明で用いる速度制御装置の具体的な構成の一例を示すブロック図である。

図 2 は、本発明で用いる他の速度制御装置の具体的な構成の一例を示すブロック図である。

図 3 は、速度積分補償ローパスフィルタを入れる場合のシミュレーション結果を示す図である。

図 4 は、速度積分補償ローパスフィルタを入れない場合のシミュレーション結果を示す図である。

図 5 は、本発明の他の実施の形態で用いる電流制御器の具体的な構成の一例を示すブロック図である。

図 6 は、本発明で用いる他の電流制御器の具体的な構成の一例を示すブロック図である。

図 7 (A) 乃至 (C) は、電流制御側遅れ補償ローパスフィルタを入れた場合のモータの動作波形のシミュレーションを示す図である。

図 8 (A) 乃至 (C) は、電流制御側遅れ補償ローパスフィルタを入れない場合のモータの動作波形のシミュレーションを示す図である。

図 9 は、本発明のモータの位置制御装置の実施の形態の構成を示すブロック図である。

図 10 は、本発明で用いる速度制御部の具体的な構成の一例を示すブロック図である。

図 11 は、本発明で用いる他の速度制御部の具体的な構成の一例を示すブロック図である。

図 12 は、本発明のモータの位置制御装置の他の実施の形態の構成を示すブロック図である。

図 13 は、本発明のモータの位置制御装置の更に他の実施の形態の構成を示す

ブロック図である。

図 1 4 は、本発明のモータの位置制御装置の更に他の実施の形態の構成を示すブロック図である。

図 1 5 は、従来の位置制御装置におけるフィードフォワード・ゲインを 0 %としたときの位置制御動作をシミュレーションした結果を示す図である。

図 1 6 は、従来の位置制御装置におけるフィードフォワード・ゲインを 5 0 %としたときの位置制御動作のシミュレーションした結果を示す図である。

図 1 7 は、従来の位置制御装置におけるフィードフォワード・ゲインを 1 0 0 %としたときの位置制御動作をシミュレーションした結果を示す図である。

図 1 8 は、図 9 及び図 1 0 の実施の形態において、速度制御側遅れ補償ローパスフィルタを挿入し且つフィードフォワード・ゲインを 0 にしたときの位置制御動作をシミュレーションした結果を示す図である。

図 1 9 は、図 1 8 の条件において微分ゲインは 0 とし、フィードフォワード・ゲインを 1 0 0 %としたときの位置制御動作をシミュレーションした結果を示す図である。

図 2 0 は、図 1 9 の条件において微分ゲインを入れたときの位置制御動作のシミュレーションした結果を示す図である。

図 2 1 は、図 1 9 の条件において、図 1 3 の構成のように、位置制御側遅れ補償ローパスフィルタを挿入したときの位置制御動作をシミュレーションした結果を示す図である。

図 2 2 は、図 2 1 の条件において微分ゲインを入れたときの位置制御動作をシミュレーションした結果を示す図である。

図 2 3 は、従来の速度制御装置の構成を示すブロック図である。

図 2 4 は、従来のモータの電流制御装置の構成を示す図である。

図 2 5 は、従来の電流制御器の構成を示す図である。

図 2 6 は、従来のモータの位置制御装置の構成を示す図である。

図 2 7 は、従来の速度制御部の構成を示すブロック図である。

発明を実施するための最良の形態

図 1 は、本発明で用いる速度制御装置の具体的な構成の一例を示すブロック図である。図 1 のシステム構成は、速度制御部 1 3 の構成が相違する点と速度フィードバック・ローパスフィルタ 1 3 5 を備えている点を除いては、図 2 3 の従来の構成と実質的に変わるところがない。

このシステムは、制御対象であるモータ M の位置を検出する位置検出部としてエンコーダ E を備えている。エンコーダ E の出力が、モータの出力軸の位置を示す位置フィードバックである。速度算出部 2 は、エンコーダ E の出力に基づいてモータの速度を算出するように構成されており、速度算出部 2 の出力が速度フィードバックとなっている。速度フィードバックが、モータ M の出力軸の速度を示している。

速度制御部 1 3 は、比例積分制御により、速度算出部 2 からフィードバックされた速度と速度指令とが一致するようにトルク指令を出力して速度制御を行う。図 1 に示すように、本実施の形態の速度制御部 1 3 は、速度制御系の遅れに相当する伝達関数 $(1 / (1 + S T_c))$ を有する速度積分補償ローパスフィルタ 1 3 3 を備えている。また速度制御部 1 3 は、速度指令を速度積分補償ローパスフィルタ 1 3 3 に入力して得た遅延速度指令と速度との速度偏差を減算手段 S B 2 で求め、この速度偏差に積分ゲイン $(1 / T_{vi})$ を乗算する乗算手段 1 3 1 と、乗算手段 1 3 1 の出力を積分する速度積分器 1 3 2 を含んで構成された積分制御系 1 3 6 と、速度指令と速度フィードバックとの偏差を減算手段 S B 1 でとり、その偏差に比例した指令を出力する比例制御系 1 3 7 とを含んでいる。そして速度制御部 1 3 は、積分制御系 1 3 6 の出力と比例制御系 1 3 7 の出力とを加算手段 A D 1 で加算したものに速度比例ゲイン K_{VP} を乗じてトルク指令として出力する乗算手段 1 3 4 を更に備えている。以上の構成が基本構成であるが、この例では、エンコーダ（位置検出部）の量子化誤差及び／または位置誤差が原因となって発生するリップルが、トルク指令に現れるのを阻止する伝達関数 $(1 / (1 + S T_{FB}))$ を有する速度フィードバック・ローパスフィルタ 1 3 5 を更に備えている。またこの場合、比例制御系 1 3 7 は、速度を速度フィードバック・ローパスフィルタ 1 3 5 に入力して得たフィルタ処理後の速度と速度指令との偏差を求める減算手段 S B 1 を含んでいる。

この例では、速度指令を速度積分補償ローパスフィルタ 1 3 3 に通したものと速度フィードバックとの差を減算手段 S B 2 でとり、速度積分ゲイン ($1/T_v$) を乗算して速度積分器 1 3 2 に通す。また速度指令と、速度フィードバックを速度フィードバック・ローパスフィルタ 1 3 5 に通したものの差を減算手段 S B 1 でとり、速度積分器 1 3 2 の出力と加算手段 A D 1 により加算する。そして最後に、速度比例ゲイン (KVP) を乗算してトルク制御部 4 にトルク指令を出力する。トルク制御部 4 は、トルク指令通りのトルクが出力されるように電流を制御する。

前述の速度フィードバック・ローパスフィルタ 1 3 5 は、エンコーダ E の量子化誤差や位置誤差によるリップルを抑制するフィルタである。このフィルタは、比例制御系 1 3 7 のフィードバックにのみ挿入し、リップル分がトルク指令に現れないようにする機能を果す。積分制御系 1 3 6 では、速度積分器 1 3 2 が平滑作用を行うため、このようなフィルタは不要である。

速度積分補償ローパスフィルタ 1 3 3 は、速度制御系の遅れに相当する時間を設定し、遅れ補償出力と速度フィードバックとがほぼ同等の立ち上がりになるようにし、速度指令変化時の速度積分器 1 3 2 の溜り量を低減する。このように速度制御部 1 3 を構成することにより、速度フィードバックに含まれるリップルの制御と、速度指令変化時の速度積分器 1 3 2 の溜り量の低減を同時に達成することができる。

なお、エンコーダ E の量子化誤差が小さい場合は、速度フィードバック・ローパスフィルタ 1 3 5 は不要である。また、速度積分補償ローパスフィルタ 1 3 3 は、速度制御系の遅れを模擬する伝達関数であれば、どのようなものでもよく、本実施の形態の伝達関数に限定されるものではない。

図 2 は、図 1 の速度制御装置において速度制御部 1 3 を変形した速度制御部 1 3' を含む場合のブロック図である。図 1 の速度制御部 1 3 と速度制御部 1 3' とを対比すると、図 2 の速度制御部 1 3' では速度比例ゲイン KVP の乗算手段 1 3 4' が比例制御系 1 3 7' の内部にある点（加算手段 A D 1 の前に挿入されている点）と、積分制御系 1 3 6' において速度比例ゲイン KVP を演算値に乗算するために、乗算手段 1 3 1' の伝達関数を乗算手段 1 3 1' が KVP/T_v

i の乗算を行うように変更している点で前者の速度制御部 13 とは構成が相違する。このようにしても図 1 の速度制御部 13 と同様の作用効果を得ることができる。

図 3 及び図 4 は、図 1 に示した制御系における速度指令ステップ応答をシミュレーションした結果の一例である。それぞれの図で縦軸は上図 (A) が速度指令と速度フィードバックを、下図 (B) が速度積分器出力を示す。全て同じ速度のスケールであり、同一速度値を基準として 10 に規格化した値を示している。横軸は全て時間で 0.01 秒単位になっている。図 3 は速度積分補償ローパスフィルタ 133 を入れない場合であり、図 4 は速度積分補償ローパスフィルタ 133 を挿入した場合のシミュレーションの結果である。図 3 (A) と図 4 (A) のいずれにおいても、階段状の波形の方が速度指令を、それより遅れて立ち上がる波形の方が速度フィードバックを示している。いずれの図においても、速度指令の階段状の立ち上がりに対して、速度フィードバックの立ち上がりは、0.01 秒の $1/3 \sim 1/2$ 程度遅れている。これらの遅れ時間は速度制御系の時間応答の遅れを示している。速度積分補償ローパスフィルタ 133 を入れない場合は、図 3 (B) に示すように速度積分器 132 の出力は速度フィードバックの立ち上がりの領域で小さなピークを示す。この領域では速度指令と速度フィードバックの偏差が存在していて、速度偏差の積分が溜まっている状態を示している。即ちこのような速度フィードバックの立ち上がり時間における速度積分器出力の小さなピークはこの時間内に速度偏差が溜まった溜まり量を示している。このような溜まり量によって速度フィードバックは、図 3 (A) に示すように値 1.2 程度までオーバーシュートする。速度積分器の出力が 0 に収束する時間領域では、図 3 (A) に示すように速度フィードバックのオーバーシュートも速度指令の値 1.0 に収束している。このような速度フィードバックの立ち上がり点で速度積分器 132 の溜まり量が増加することからわかるように、モータ加減速に伴い速度積分器 132 の溜まり量が変動する。

次に速度積分補償ローパスフィルタ 133 を挿入した場合の結果を図 4 に示す。この場合は図 4 (A) に示す階段状の速度指令が速度積分補償ローパスフィルタ 133 を通過して、遅延速度指令として出力され、この遅延速度指令の立ち上

がりが、図 4 (A) に示す速度フィードバックの立ち上がりと同じ程度の遅れになるように調節する。このように遅延速度指令と、速度フィードバックとの偏差が減算手段 S B 2 で作られて、乗算手段 1 3 1 で $1/T_{vi}$ 倍され、速度積分器 1 3 2 で積分される。この場合、減算手段 S B 2 で作られるこれらの偏差は遅延速度指令と速度フィードバックの立ち上がり領域において十分に小さくなっていて、図 4 (B) に示すように速度積分器 1 3 2 における速度偏差の溜まり量は小さなピークを示し、それ以後はほぼ 0 に近い一定値を保っている。この場合、速度積分器 1 3 2 の溜まり量の小さなピークの高さは、図 3 (B) の場合に比べて大変小さなもので、ほとんど無視できる程度にとどまっている。また速度フィードバックは図 4 (A) に示すように速度指令の値 1 0 以上へのオーバーシュートはなく、急速に速度指令と同じ値 1 0 に収束する。

このように本制御装置では、速度積分補償ローパスフィルタ 1 3 3 を挿入することによって、モータ回転中の速度積分器 1 3 2 の溜り量を 0 に近い値に小さくできるため、その分積分ゲインを上げることができ、外乱抑圧能力を向上させることができる。速度フィードバック・ローパスフィルタ 1 3 5 は、本発明の実施の形態で示すような時間に関して指数関数的に減衰するローパスフィルタで構成する他に、速度の応答特性の実測値あるいは理論値を模擬するような一般的な関数形の伝達関数で構成してもよい。

図 5 は、図 2 4 に示した従来の装置の電流制御器 4 a または電流制御器 4 b に代えて使用される電流制御器 2 1 3 の具体的な構成の一例を示すブロック図である。

図 5 に示すように、本実施の形態の電流制御器 2 1 3 は、電流制御系の遅れに相当する伝達関数 ($1/(1 + S T_c)$) を有する電流制御側遅れ補償ローパスフィルタ 2 3 3 を備えている。また電流制御器 2 1 3 は、電流指令を電流制御側遅れ補償ローパスフィルタ 2 3 3 に入力して得た遅延電流指令とモータ電流（電流フィードバック）との電流偏差を減算手段 S B 2 で求め、この電流偏差に積分ゲイン ($1/T_{vi}$) を乗算する乗算手段 2 3 1 と、乗算手段 2 3 1 の出力を積分する電流積分器 2 3 2 を含んで構成された積分制御系と、電流指令と電流フィードバックとの電流偏差に比例した指令を出力する比例制御系とを含んでいる。

そして電流制御器 213 は、積分制御系の出力と比例制御系の出力とを加算手段 AD1 で加算したものに電流比例ゲイン K_{IP} を乗じて電圧指令として出力する乗算手段 234 を更に備えている。この電流制御器 213 は、電流指令を電流制御側遅れ補償ローパスフィルタ 233 に入力して得た遅延電流指令と電流フィードバックとの電流偏差を減算手段 SB2 で求め、この電流偏差に電流積分ゲイン $(1/T_{vi})$ を乗算する乗算手段 231 と、乗算手段 231 の出力を積分する電流積分器 232 を含んで構成された積分制御系と、電流指令に比例した指令を出力する比例制御系とを含んでいる。そして電流制御器 213 は、積分制御系の出力と比例制御系の出力とを加算手段 AD1 で加算したものに電流比例ゲイン K_{IP} を乗じて電圧指令として出力する乗算手段 234 を更に備えている。この例では、遅延電流指令と電流フィードバックとの電流偏差を減算手段 SB2 でとり、電流積分器 232 の出力と比例制御系の出力とを加算手段 AD1 で加算する。そして加算手段 AD1 の出力に、乗算手段 234 で電流比例ゲイン K_{IP} を乗算して電圧指令を得る。

電流制御側遅れ補償ローパスフィルタ 233 には、電流制御系の遅れに相当する伝達関数を設定し、遅延電流指令と電流フィードバックとがほぼ同時に立ち上がるようにし、電流指令変化時の電流積分器 232 の溜り量を低減する。このように電流制御器 213 を構成することにより、電流フィードバックに含まれるリップルの抑制と、電流指令変化時の電流積分器 232 内の溜り量の低減とを同時に達成することができる。

なお、電流制御側遅れ補償ローパスフィルタ 233 は、電流制御系の遅れを模擬する伝達関数であれば、どのようなものでもよく、本実施の形態の伝達関数に限定されるものではない。また、制御系の遅れが大きい場合は、1 サンプルもしくは、数サンプル遅れとローパスフィルタとを組み合わせてもよい。

図 6 は、電流制御器の変形例を示すブロック図である。電流制御器 213' と図 5 の電流制御器 213 を対比すると、図 6 の電流制御器 213' では電流比例ゲイン K_{IP} の乗算手段 234' が比例制御系の内部にある点（加算手段 AD1 の前に挿入されている点）と、積分制御系において電流比例ゲイン K_{IP} を演算値に乘算するために、乗算手段 231' の伝達関数を変更している点で前者の電

流制御器 2 1 3 とは構成が相違する。このようにしても図 5 の電流制御器 2 1 3 と同様の作用効果を得ることができる。

図 7 (A) 乃至 (C) 及び図 8 (A) 乃至 (C) は、この制御系における電流応答をシミュレーションした結果であり、それぞれ電流指令、電流フィードバック及び積分器出力である。全て同じ電流のスケールであり、同一電流値を基準として 1 に規格化した値を示している。各図の横軸は全て時間で 0. 0 0 1 m 秒単位になっている。図 7 は、電流制御側遅れ補償ローパスフィルタ 2 3 3 を入れた場合であり、図 8 は、電流制御側遅れ補償ローパスフィルタ 2 3 3 を挿入しない場合のシミュレーションの結果である。図 7 と図 8 のいずれにおいても、電流指令の立ち上がりに対して、電流フィードバックの立ち上がりは、0. 0 0 1 m 秒の 1 / 5 程度遅れている。図 7 に示すように、電流制御側遅れ補償ローパスフィルタ 2 3 3 を挿入した場合には、電流積分器 2 3 2 の出力電流の立ち上がりが、電流フィードバックの立ち上がりと同じ程度に遅れることにより、これらの差が加算手段 A D 1 で消去されて積分器出力は電流フィードバックの立ち上がりの時間に小さなピークを示し、それ以外ではほぼ 0 に近い一定値を保っている。この場合、積分器出力の小さなピークの高さは大変小さなもので、ほとんど無視できる程度にとどまっている。しかしながら電流制御側遅れ補償ローパスフィルタ 2 3 3 を入れない場合は、図 8 に示すように電流フィードバックの立ち上がりの時間における加算手段 A D 1 での電流フィードバックと電流積分器 2 3 2 の出力との打ち消しあい十分ではなく、電流フィードバックの立ち上がり点で電流積分器出力が示すピークは電流制御側遅れ補償ローパスフィルタ 2 3 3 を入れた場合に比べて高いものになっている。

この結果、電流制御側遅れ補償ローパスフィルタ 2 3 3 を入れない場合には、電流のオーバーシュートが大きくなるが、電流制御側遅れ補償ローパスフィルタ 2 3 3 を挿入した場合には、モータ回転中の電流積分器 2 3 2 の溜り量を 0 に近い値にすることでオーバーシュートを小さくできることが分かる。

なお、本発明は、直流モータの制御にも当然にして適用可能である。その場合は、図 2 4 の従来例に示したような d q 軸電流制御系と、座標変換器が不要になる。

図9は、本発明をモータの位置制御装置に適用した実施の形態の構成を示すブロック図である。このシステムは、制御対象であるモータMの位置を検出する位置検出部としてエンコーダEを備えている。エンコーダEの出力が、モータの出力軸の位置を示す位置フィードバックである。速度算出部302は、エンコーダEの出力に基づいてモータの速度を算出するように構成されており、速度算出部302の出力が速度フィードバックとなっている。速度フィードバックが、モータMの出力軸の回転速度を示している。位置制御部311Aは、位置検出部としてのエンコーダEからフィードバックされたモータMの位置と位置指令とが一致するように速度指令を出力して位置制御を行うように構成されている。この実施の形態では、位置制御部311Aが、位置指令を微分する微分器412と、微分器412の出力にフィードフォワード・ゲインVFFを乗算するフィードフォワード・ゲイン乗算手段413と、この乗算手段413からの出力を更に微分する微分器417と、微分器417からの出力に微分ゲイン(Ks)を乗算する乗算器418と、乗算器418の出力とフィードフォワード・ゲイン乗算手段413の出力と加算する加算手段AD3と、位置指令の量子化誤差によるリップルを除去する伝達関数($1 / (1 + S T_{FF})$)を有するフィードフォワード・ローパスフィルタ414とを備えている。この例では、微分器417と乗算器418とにより、速度制御系の遅れを補償する比例微分手段が構成されている。なお通常、フィードフォワード・ゲインVFFは40～60% (0.4～0.6) 程度に設定される。そして位置指令と位置フィードバックの偏差は、減算手段SB3で求められ、この偏差を位置ループ乗算手段411で位置比例ゲインKP倍する。

位置制御部311Aからは、位置ループ乗算手段411から出力された指令とフィードフォワード・ローパスフィルタ414から出力された速度フィードフォワード指令(速度FF指令)とが加算手段AD2で加算された指令が速度指令として出力される。このようなフィードフォワード乗算出力を比例微分制御することにより、一次進みの特性が得られ速度制御系の遅れを補償し、位置指令に対する追従性を改善できる。更にフィードフォワード・ローパスフィルタ414により、位置指令に含まれる量子化誤差に基づくリップルが速度指令それ自

体に含まれるのを阻止することができる。

速度指令は、速度制御部 3 1 3 を通ってトルク指令となる。トルク制御部 3 0 4 は、トルク指令通りのトルクが出力されるよう電流を制御する。本実施の形態の装置では、フィードフォワードを追加することにより、位置決め整定時間を従来よりも短縮させることができる。

図 1 0 は、本発明で用いる図 9 の速度制御部 3 1 3 の具体的な構成の一例を示すブロック図である。速度制御部 3 1 3 は、比例積分制御により、図 9 の速度算出部 3 0 2 からフィードバックされた速度と速度指令とが一致するようにトルク指令を出力して速度制御を行う。図 1 0 に示すように、本実施の形態で用いる速度制御部 3 1 3 は、速度制御系の遅れに相当する伝達関数 $(1 / (1 + S T_c))$ を有する速度制御側遅れ補償ローパスフィルタ 4 3 3 を備えている。また速度制御部 3 1 3 は、速度指令を速度制御側遅れ補償ローパスフィルタ 4 3 3 に入力して得た遅延速度指令と速度との速度偏差を減算手段 S B 2 で求め、この速度偏差に積分ゲイン $(1 / T_{vi})$ を乗算する乗算手段 4 3 1 と、乗算手段 4 3 1 の出力を積分する速度積分器 4 3 2 を含んで構成された積分制御系と、速度指令に比例した指令を出力する比例制御系とを含んでいる。そして速度制御部 3 1 3 は、積分制御系の出力と比例制御系の出力とを加算手段 A D 1 で加算したものに速度比例ゲイン K V P を乗じてトルク指令として出力する乗算手段 4 3 4 を更に備えている。以上の構成が基本構成であるが、この例では、エンコーダ（位置検出部）の量子化誤差及び／または位置誤差が原因となって発生するリップルが、トルク指令に現れるのを阻止する伝達関数 $(1 / (1 + S T_{FB}))$ を有する速度フィードバック・ローパスフィルタ 4 3 5 を更に備えている。またこの場合、比例制御系は、速度を速度フィードバック・ローパスフィルタ 4 3 5 に入力して得たフィルタ処理後の速度と速度指令との偏差を求める減算手段 S B 1 を含んでいる。

この例では、速度指令を速度制御側遅れ補償ローパスフィルタ 4 3 3 に通したものと速度フィードバックの差を減算手段 S B 2 でとり、速度積分ゲイン $(1 / T_{vi})$ を乗算して速度積分器 4 3 2 に通す。また速度指令と、速度フィードバックを速度フィードバック・ローパスフィルタ 4 3 5 に通したものの差を減算

手段S B 1でとり、速度積分器4 3 2の出力と加算手段A D 1により加算する。そして最後に、速度比例ゲイン(K V P)を乗算してトルク指令を出力する。

前述の速度フィードバック・ローパスフィルタ4 3 5は、エンコーダEの量子化誤差や位置誤差によるリップルを抑制するフィルタである。このフィルタは、比例制御系のフィードバックにのみ挿入し、リップル分がトルク指令に現れないようにする機能を果たす。積分制御系では、速度積分器4 3 2が平滑作用を行うため、このようなフィルタは不要である。

速度制御側遅れ補償ローパスフィルタ4 3 3は、速度制御系の遅れに相当する時間を設定し、遅れ補償出力と速度フィードバックとがほぼ同等の立ち上がりになるようにし、速度指令変化時の速度積分器4 3 2の溜り量を低減する。このように速度制御部3 1 3を構成することにより、速度フィードバックに含まれるリップルの抑制と、速度指令変化時の速度積分器4 3 2の溜り量の低減を同時に達成することができる。

なお、エンコーダEの量子化誤差が小さい場合は、速度フィードバック・ローパスフィルタ4 3 5は不要である。また、速度制御側遅れ補償ローパスフィルタ4 3 3は、速度制御系の遅れを模擬する伝達関数であれば、どのようなものでもよく、本実施の形態の伝達関数に限定されるものではない。

図1 1は、速度制御部3 1 3'の変形例を示すブロック図である。図1 0の速度制御部3 1 3と速度制御部3 1 3'とを対比すると、図1 1の速度制御部3 1 3'では速度比例ゲインK V Pの乗算手段4 3 4'が比例制御系の内部にある点(加算手段A D 1の前に挿入されている点)と、積分制御系において速度比例ゲインK V Pを演算値に乗算するために、乗算手段4 3 1'の伝達関数を変更している点で前者の速度制御部3 1 3とは構成が相違する。このようにしても図1 0の速度制御部3 1 3と同様の作用効果を得ることができる。

図1 2は、図9の実施の形態の変形例を示すブロック図である。図1 2の実施の形態は、位置制御部3 1 1 Bの構成が図9の実施の形態とは異なっており、図1 2においては、図9の実施の形態の構成要素と同様の要素には図9に付した符号と同様の部分に、図9に付した符号と同じ符号を付して説明を省略する。図9の実施の形態と図1 2の実施の形態とを対比すると、微分器4 1 2の位置が異な

る点と、積分器 4 1 6 と微分器 3 0 5 とが新たに追加された点で両者は相違する。すなわちこの位置制御部 3 1 1 B では、位置指令を微分する微分器 4 1 2 が減算手段 S B 3 の前に入り、位置検出器で検出した位置を微分する微分器 3 0 5 が減算手段 S B 3 の前にに入り、微分器 4 1 2 の出力（位置指令を微分したもの）と微分器 3 0 5 の出力（位置を微分したもの）との偏差（位置微分偏差）を積分する積分器 4 1 6 が、位置比例ゲインを乗算する位置ループ乗算手段 4 1 1 の前段に入っている。この実施の形態によっても、図 9 の実施の形態と同様の効果が得られる。

図 1 3 は、本発明のモータの位置制御装置の更に他の実施の形態の構成を示すブロック図である。図 9 に示した実施の形態の構成要素と同様の構成要素には、図 9 に付した符号と同じ符号を付して説明を省略する。この実施の形態では、図 9 の実施の形態の構成要件に加えて、速度制御系の遅れに相当する伝達関数（ $1 / (1 + S T d)$ ）を有する位置制御側遅れ補償ローパスフィルタ 4 1 5 を位置制御部 3 1 1 C が更に備えている。この実施の形態では、位置制御側遅れ補償ローパスフィルタ 4 1 5 を通った位置指令と位置フィードバックとの位置偏差が減算手段 S B 3 により求められ、位置偏差が位置ループ乗算手段 4 1 1 に入力されている。この例では、フィードフォワード・ゲイン V F F が 1 または 1 に近い値に設定されている。

位置制御側遅れ補償ローパスフィルタ 4 1 5 には、速度制御系の遅れを伝達関数として設定してある。位置制御側遅れ補償ローパスフィルタ 4 1 5 の出力と位置フィードバックとが同程度に立ち上がるように位置制御側遅れ補償ローパスフィルタ 4 1 5 の伝達関数が定められている。位置制御側遅れ補償ローパスフィルタ 4 1 5 を追加すると、位置制御部 3 1 1 C の位置ループ乗算手段 4 1 1 の出力はかなり小さな値になる。この装置では、位置制御側遅れ補償ローパスフィルタ 4 1 5 の追加により、フィードフォワード・ゲイン V F F を 1 0 0 % または 1 0 0 % に近い値まで（1 または 1 に近い値まで）上げることができ、図 9 の実施の形態の場合と同程度、もしくは、それよりは若干短く、位置決め整定時間を短縮できる。

図 1 4 は、図 1 2 の実施の形態において、位置制御側遅れ補償ローパスフィル

タ 4 1 5 を追加した場合の構成を示すものである。その他の点は、図 1 2 の実施の形態と同様であるので説明は省略する。

図 1 8 には、図 9 及び図 1 0 の実施の形態において、速度制御側遅れ補償ローパスフィルタ 4 3 3 を挿入し且つフィードフォワード・ゲインを 0 にしたときの位置制御動作をシミュレーションした結果を示す。図 1 5 の従来例と比較すると、速度積分器の溜まり量が 0 に近くなっていることが分かる。また図 1 9 には、図 1 8 の条件において微分ゲインは 0 とし、フィードフォワード・ゲインを 1 0 0 % としたときの位置制御動作をシミュレーションした結果を示す。このようにすると位置のオーバーシュート量が大きくなることが分かる。そして図 2 0 には、図 1 9 の条件において微分ゲインを入れたときの位置制御動作をシミュレーションした結果を示す。図 1 9 と比較すると、図 2 0 からは、フィードフォワード・ゲインを 1 0 0 % にした場合でもオーバーシュート量が減ることが分かる。図 2 1 には、図 1 9 の条件において、図 1 3 の構成のように、位置制御側遅れ補償ローパスフィルタ 4 1 5 を挿入したときの位置制御動作をシミュレーションした結果を示す。図 2 1 の場合においても、図 1 9 と比較すると、オーバーシュート量が減少しているのが分かる。さらに図 2 2 には、図 2 1 の条件で微分ゲインを入れたときの位置制御動作をシミュレーションした結果を示す。図 2 2 では、加減速時の位置制御器からの速度指令がほぼ 0 になっており、フィードフォワード・ゲインを 1 0 0 % にしても、オーバーシュートが小さく、追従性が大きく改善されていることが分かる。最終的に、一定速時の位置偏差は、図 1 6 に示す従来例のフィードフォワード・ゲインを 5 0 % にしたときの約 1 / 2 程度まで減少しており、従来と比較すると追従性が約 2 倍に向上することが分かる。

産業上の利用可能性

本発明によれば、速度積分補償ローパスフィルタを用いているので、速度制御系の遅れに相当する遅れを持った速度指令と実際に遅れている速度フィードバックの速度との偏差をゼロに近いものとすることができ、速度積分器の溜まり量をほぼゼロにすることができる。このように本制御装置の適用により、速度積分器の溜り量を小さくできるため、簡単な構成で、オーバーシュートが少なく、その

分積分ゲインを上げることができ、高速で外乱抑圧能力に優れた速度制御装置が実現できる。

本発明によれば、電流制御側遅れ補償ローパスフィルタを用いているので、電流制御系の遅れに相当する遅れを持った遅延電流指令と実際に遅れている電流フィードバックとの電流偏差をゼロに近いものとすることができ、電流積分器の溜まり量をほぼゼロにして、電流応答を高速化できる。そのため本発明の電流制御装置の適用により、簡単な構成で、電流応答を高速化できて、オーバーシュートを低減できる。

本発明によれば、位置制御部でフィードフォワード乗算出力を比例微分制御することにより、一次進みの特性を得て、速度制御系の遅れを補償し、位置指令に対する追従性を改善できる利点がある。また、速度制御側遅れ補償ローパスフィルタを用いていると、速度制御系の遅れに相当する遅れを持った速度指令と実際に遅れている速度フィードバックの速度との偏差をゼロに近いものとすることができ、速度積分器の溜まり量をほぼゼロにできる。またフィードフォワード・ゲインを100%に上昇させた場合でもオーバーシュートの小さい制御系を構成でき、より追従性を高めた位置制御が実現でき、より高速な追従性が実現できる利点がある。

請 求 の 範 囲

1. 制御対象であるモータの位置を検出する位置検出部と、
前記位置検出部により検出されたモータの位置から前記モータの速度を算出する速度算出部と、
比例積分制御により、前記速度算出部からフィードバックされた前記速度と速度指令とが一致するようにトルク指令を出力して速度制御を行う速度制御部と、
前記トルク指令に基づいてトルク制御を行うトルク制御部とを備えたモータの制御装置において、
前記速度制御部が、
速度制御系の遅れに相当する伝達関数を有する速度積分補償ローパスフィルタと、
前記速度指令を前記速度積分補償ローパスフィルタに入力して得た遅延速度指令と前記速度との速度偏差を積分する速度積分器を含んで構成された積分制御系と、
前記速度指令と前記モータの速度との差に比例した指令を出力する比例制御系と、
前記積分制御系の出力と前記比例制御系の出力とを加算する加算手段と、
前記加算手段の出力に速度比例ゲインを乗じて前記トルク指令を得る乗算手段とから構成されていることを特徴とするモータの制御装置。
2. 制御対象であるモータの位置を検出する位置検出部と、
前記位置検出部により検出されたモータの位置から前記モータの速度を算出する速度算出部と、
比例積分制御により、前記速度算出部からフィードバックされた前記速度と速度指令とが一致するようにトルク指令を出力して速度制御を行う速度制御部と、
前記トルク指令に基づいてトルク制御を行うトルク制御部とを備えたモータの制御装置において、
前記速度制御部が、
速度制御系の遅れに相当する伝達関数を有する速度積分補償ローパスフィルタ

と、

前記速度指令を前記速度積分補償ローパスフィルタに入力して得た遅延速度指令と前記速度との速度偏差を積分する速度積分器を含み制御系中の演算値に速度比例ゲインを乗じて出力する積分制御系と、

前記速度指令と前記速度との差に速度比例ゲインを乗じた指令を出力する比例制御系と、

前記積分制御系の出力と前記比例制御系の出力とを加算する加算手段とから構成されていることを特徴とするモータの制御装置。

3. 前記位置検出部の量子化誤差及び／または位置誤差が原因となって発生するリップルが、前記トルク指令に現れるのを阻止する伝達関数を有する速度フィードバック・ローパスフィルタを更に備え、

前記比例制御系は、前記速度を前記速度フィードバック・ローパスフィルタに入力して得たフィルタ処理後の速度と前記速度指令との偏差を求める減算手段を含んでいることを特徴とする請求項1または2に記載のモータの制御装置。

4. 制御対象であるモータのモータ電流を検出する電流検出器と、

前記電流検出器が検出した前記モータ電流に基づく電流フィードバックと電流指令との電流偏差に基づいて電圧指令を出力する電流制御器と、

前記電圧指令に基づいて前記モータに前記モータ電流を供給する駆動手段とを備えたモータの制御装置において、

前記電流制御器が、

電流制御系の遅れに相当する伝達関数を有する電流制御側遅れ補償ローパスフィルタと、

前記電流指令を前記電流制御側遅れ補償ローパスフィルタに入力して得た遅延電流指令と前記電流フィードバックとの電流偏差を積分する電流積分器を含んで構成された積分制御系と、

前記電流指令と前記電流フィードバックとの電流偏差に比例した指令を出力する比例制御系と、

前記積分制御系の出力と前記比例制御系の出力とを加算する加算手段と、

前記加算手段の出力に電流比例ゲインを乗じて前記電圧指令を得る乗算手段と

から構成されていることを特徴とするモータの制御装置。

5. 制御対象であるモータのモータ電流を検出する電流検出器と、

前記電流検出器が検出した前記モータ電流に基づく電流フィードバックと電流指令との電流偏差に基づいて電圧指令を出力する電流制御器と、

前記電圧指令に基づいて前記モータに前記モータ電流を供給する駆動手段とを備えたモータの制御装置において、

前記電流制御器が、

電流制御系の遅れに相当する伝達関数を有する電流制御側遅れ補償ローパスフィルタと、

前記電流指令を前記電流制御側遅れ補償ローパスフィルタに入力して得た遅延電流指令と前記電流との電流偏差を積分する電流積分器を含み制御系中の演算値に電流比例ゲインを乗じて出力する積分制御系と、

前記電流指令と前記電流フィードバックとの電流偏差に電流比例ゲインを乗じた指令を出力する比例制御系と、

前記積分制御系の出力と前記比例制御系の出力とを加算する加算手段とから構成されていることを特徴とするモータの制御装置。

6. 制御対象であるモータの位置を検出する位置検出部と、

前記モータの速度を算出する速度算出部と、

前記位置検出部からフィードバックされた前記モータの位置と位置指令とが一致するように速度指令を出力して位置制御をする位置制御部と、

比例積分制御により、前記速度算出部からフィードバックされた前記速度と前記速度指令とが一致するようにトルク指令を出力して速度制御を行う速度制御部と、

前記トルク指令に基づいてトルク制御を行うトルク制御部とを備えたモータの制御装置において、

前記位置制御部は、前記位置指令と前記位置検出部により検出した前記位置との位置偏差を求める減算手段と、

前記位置偏差に位置比例ゲインを乗算する位置ループ乗算手段と、

前記位置指令を微分する微分器と、

前記微分器の出力にフィードフォワード・ゲインを乗算するフィードフォワード・ゲイン乗算手段と、

前記フィードフォワード・ゲイン乗算手段の出力を比例微分制御して速度制御系の遅れを補償する比例微分手段と、

前記位置指令の量子化誤差によるリップルを除去する伝達関数を有して、前記比例微分手段の出力と前記フィードフォワード・ゲイン乗算手段の出力との加算値をフィルタ処理するフィードフォワード・ローパスフィルタと、

前記フィードフォワード・ローパスフィルタの出力と前記位置ループ乗算手段の出力とを加算して前記速度指令を出力する加算手段とを備えていることを特徴とするモータの制御装置。

7. 速度制御系の遅れに相当する伝達関数を有する位置制御側遅れ補償ローパスフィルタを更に備え、

前記位置指令が前記位置制御側遅れ補償ローパスフィルタを通して前記減算手段に入力されることを特徴とする請求項6に記載のモータの制御装置。

8. 前記速度制御部が、

速度制御系の遅れに相当する伝達関数を有する速度制御側遅れ補償ローパスフィルタと、

前記速度指令を前記速度制御側遅れ補償ローパスフィルタに入力して得た遅延速度指令と前記速度との速度偏差を積分する速度積分器を含んで構成された積分制御系と、

前記速度指令と前記速度との差に比例した指令を出力する比例制御系と、

前記積分制御系の出力と前記比例制御系の出力とを加算する加算手段と、

前記加算手段の出力に速度比例ゲインを乗じて前記トルク指令を得る乗算手段とを具備している請求項6または7に記載のモータの制御装置。

9. 前記速度制御部が、

速度制御系の遅れに相当する伝達関数を有する速度制御側遅れ補償ローパスフィルタと、

前記速度指令を前記速度制御側遅れ補償ローパスフィルタに入力して得た遅延速度指令と前記速度との速度偏差を積分する速度積分器を含み制御系中の演算値

に速度比例ゲインを乗じて出力する積分制御系と、

前記速度指令と前記速度との差に速度比例ゲインを乗じた指令を出力する比例制御系と、

前記積分制御系の出力と前記比例制御系の出力とを加算する加算手段とから構成されていることを特徴とする請求項 6 または 7 に記載のモータの制御装置。

10. 制御対象であるモータの位置を検出する位置検出部と、

前記モータの速度を算出する速度算出部と、

前記位置検出部からフィードバックされた前記モータの位置と位置指令とが一致するように速度指令を出力して位置制御をする位置制御部と、

比例積分制御により、前記速度算出部からフィードバックされた前記速度と前記速度指令とが一致するようにトルク指令を出力して速度制御を行う速度制御部と、

前記トルク指令に基づいてトルク制御を行うトルク制御部とを備えたモータの制御装置において、

前記位置制御部は、

前記位置指令を微分する微分器と、

前記微分器の出力にフィードフォワード・ゲインを乗算するフィードフォワード・ゲイン乗算手段と、

前記フィードフォワード・ゲイン乗算手段の出力を比例微分制御して速度制御系の遅れを補償する比例微分手段と、

前記位置指令の量子化誤差によるリップルを除去する伝達関数を有して、前記比例微分手段の出力と前記フィードフォワード・ゲイン乗算手段の出力との加算値をフィルタ処理するフィードフォワード・ローパスフィルタと、

前記微分器の出力と前記位置検出部により検出した前記位置の微分値との偏差を積分して前記位置偏差を前記位置ループ乗算手段に出力する積分器と、

前記積分器の出力に位置比例ゲインを乗算する位置ループ乗算手段と、

前記位置ループ乗算手段から出力された指令と前記フィードフォワード・ローパスフィルタから出力された速度フィードフォワード指令とを加算して前記速度指令として出力する加算手段とを具備することを特徴とする請求項 9 に記載

のモータの制御装置。

11. 速度制御系の遅れに相当する伝達関数を有する位置制御側遅れ補償ローパスフィルタが前記微分器と前記積分器との間に配置され、

前記位置制御側遅れ補償ローパスフィルタを通った前記微分器の出力と前記位置の微分値との偏差が前記積分器に入力されることを特徴とする請求項10に記載のモータの制御装置。

圖 1

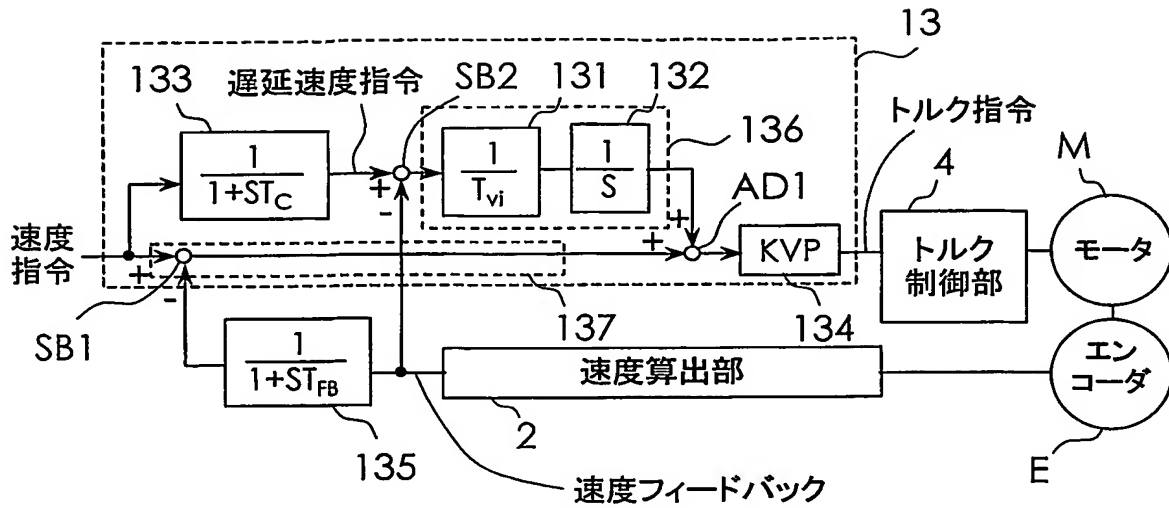


Figure 2

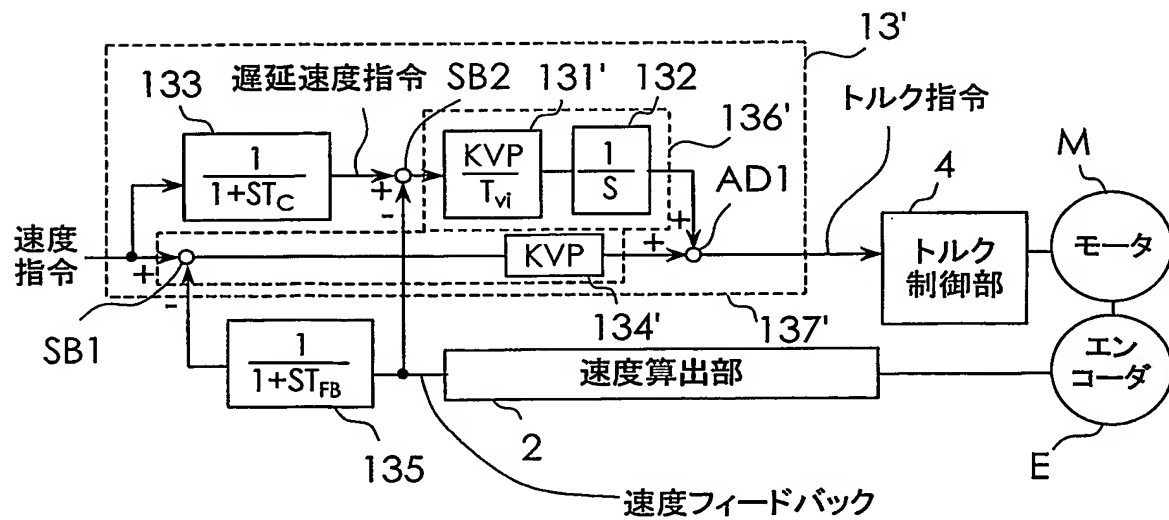


図 3

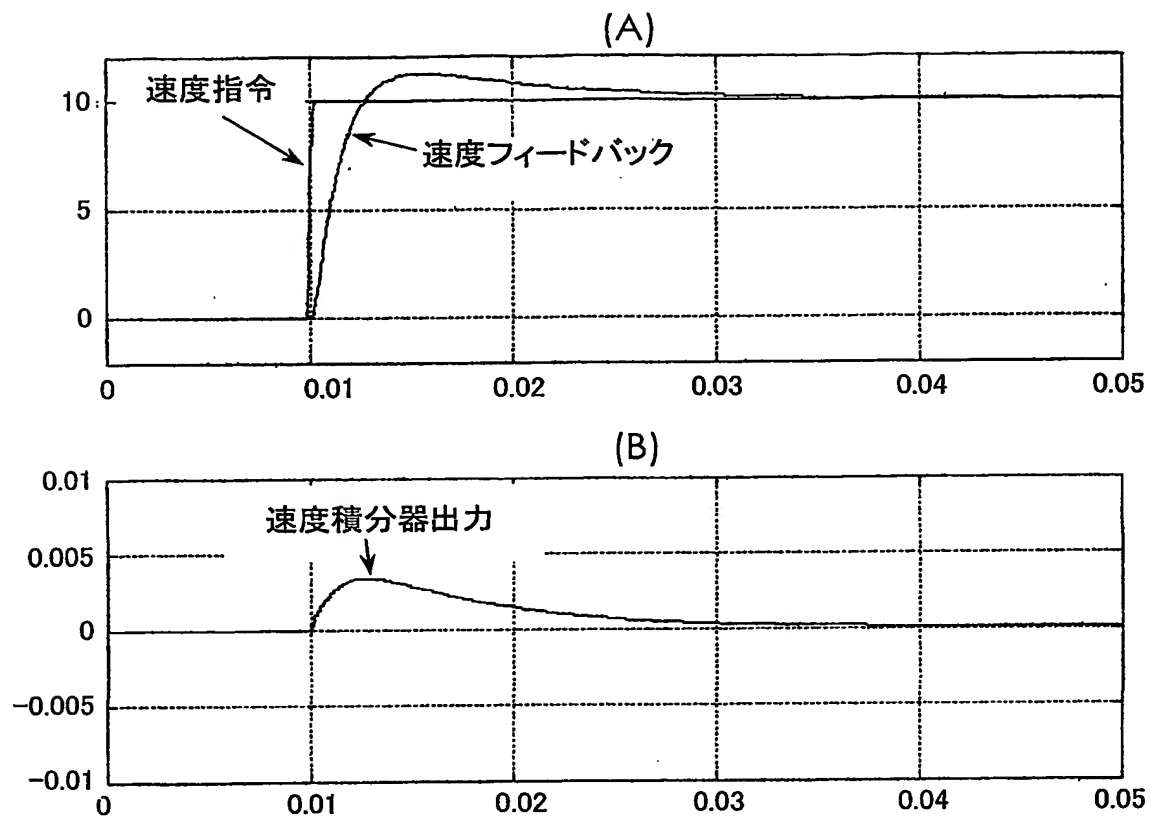


図 4

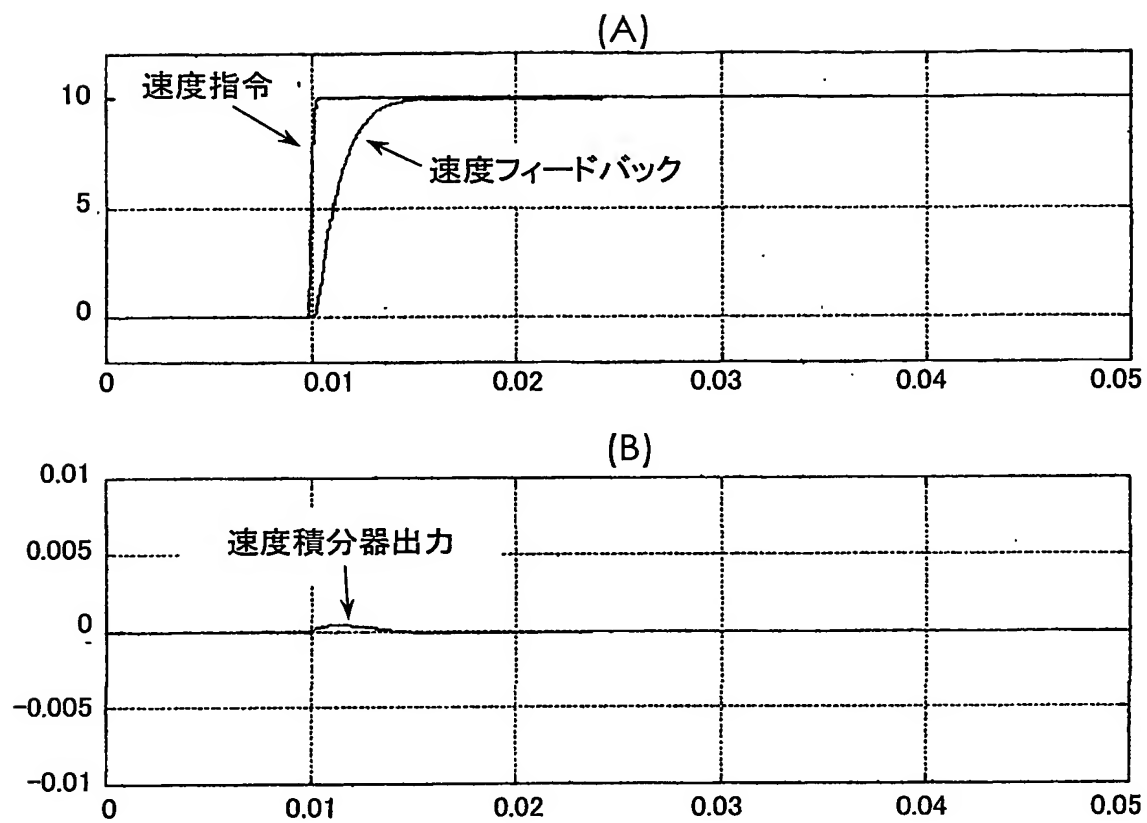


図 5

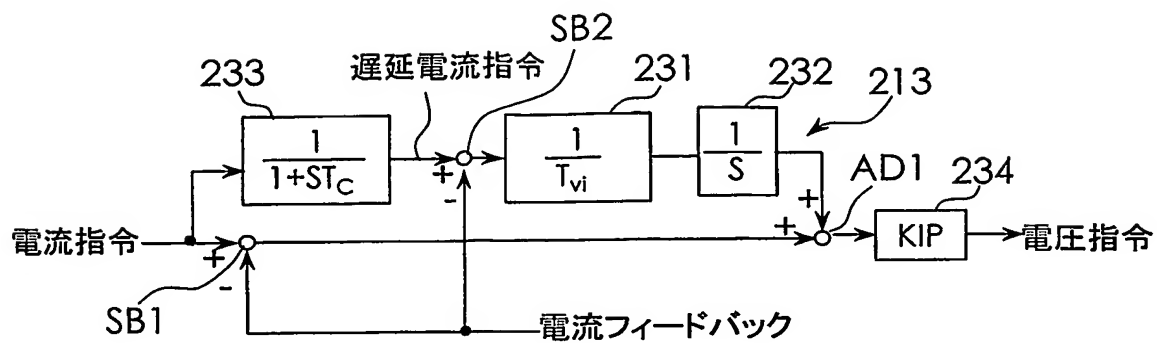


図 6

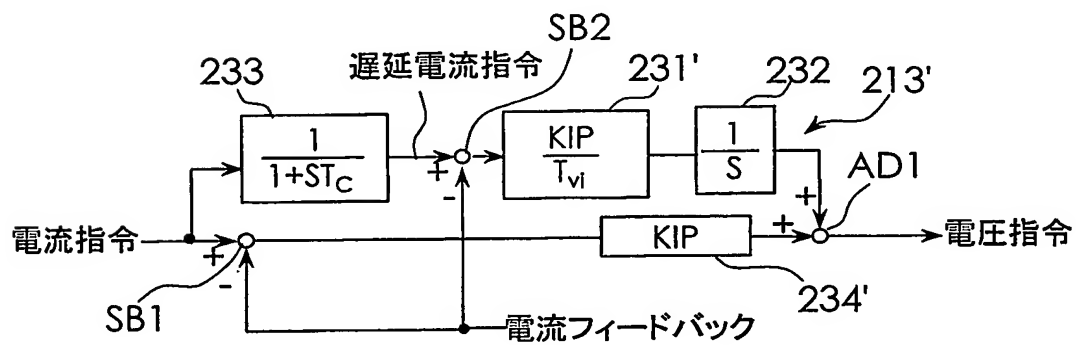


図 7

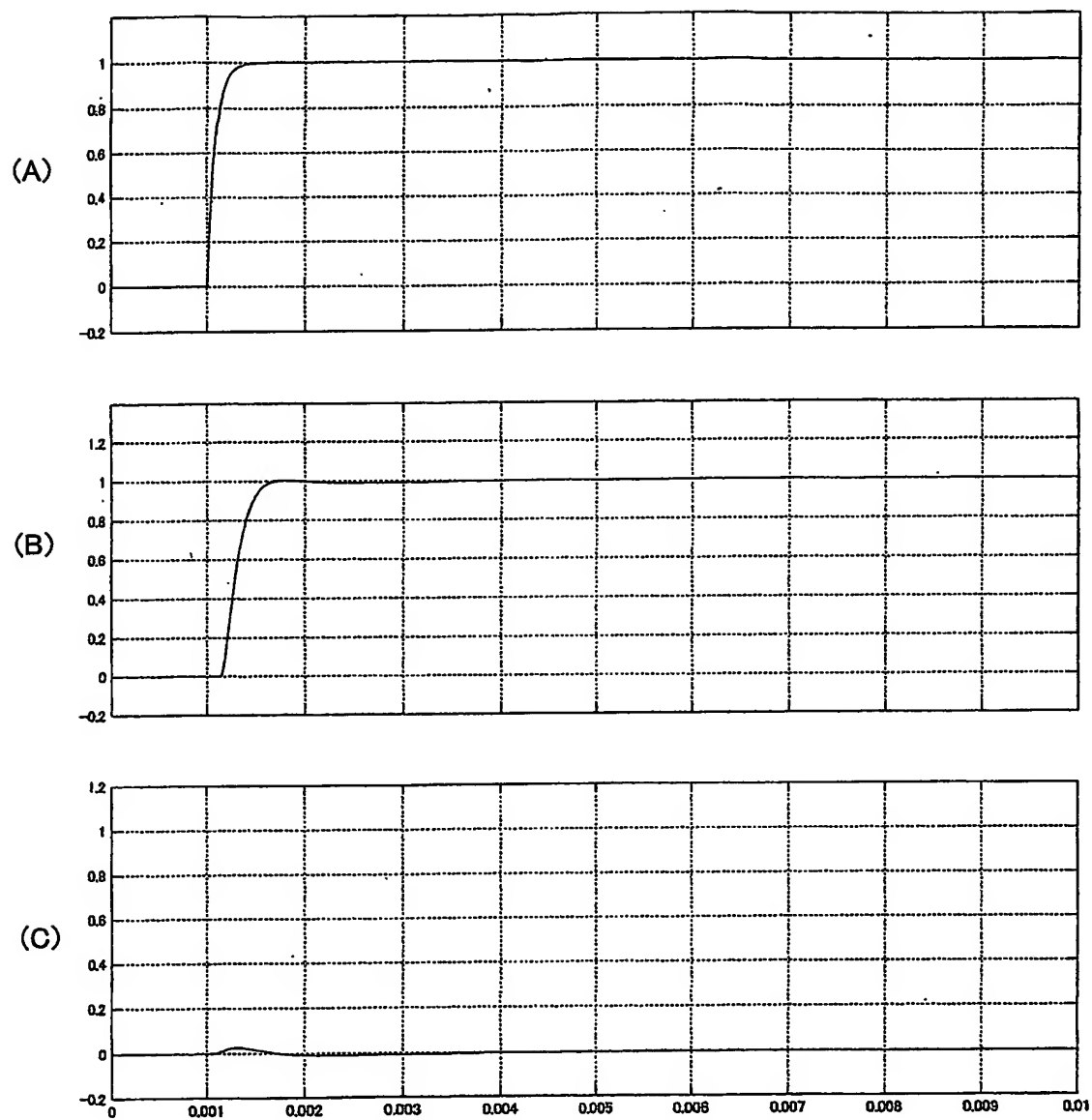


図 8

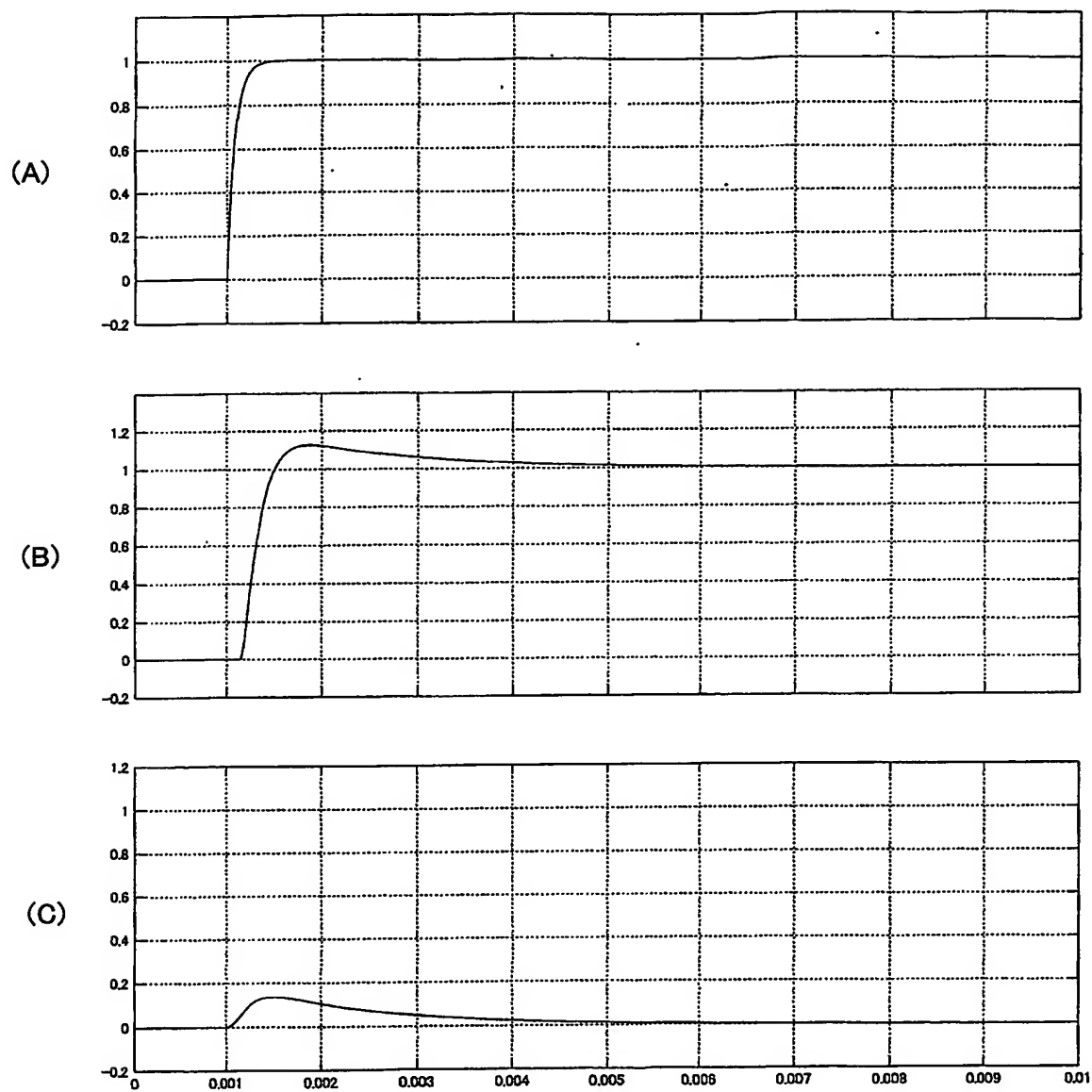


図 9

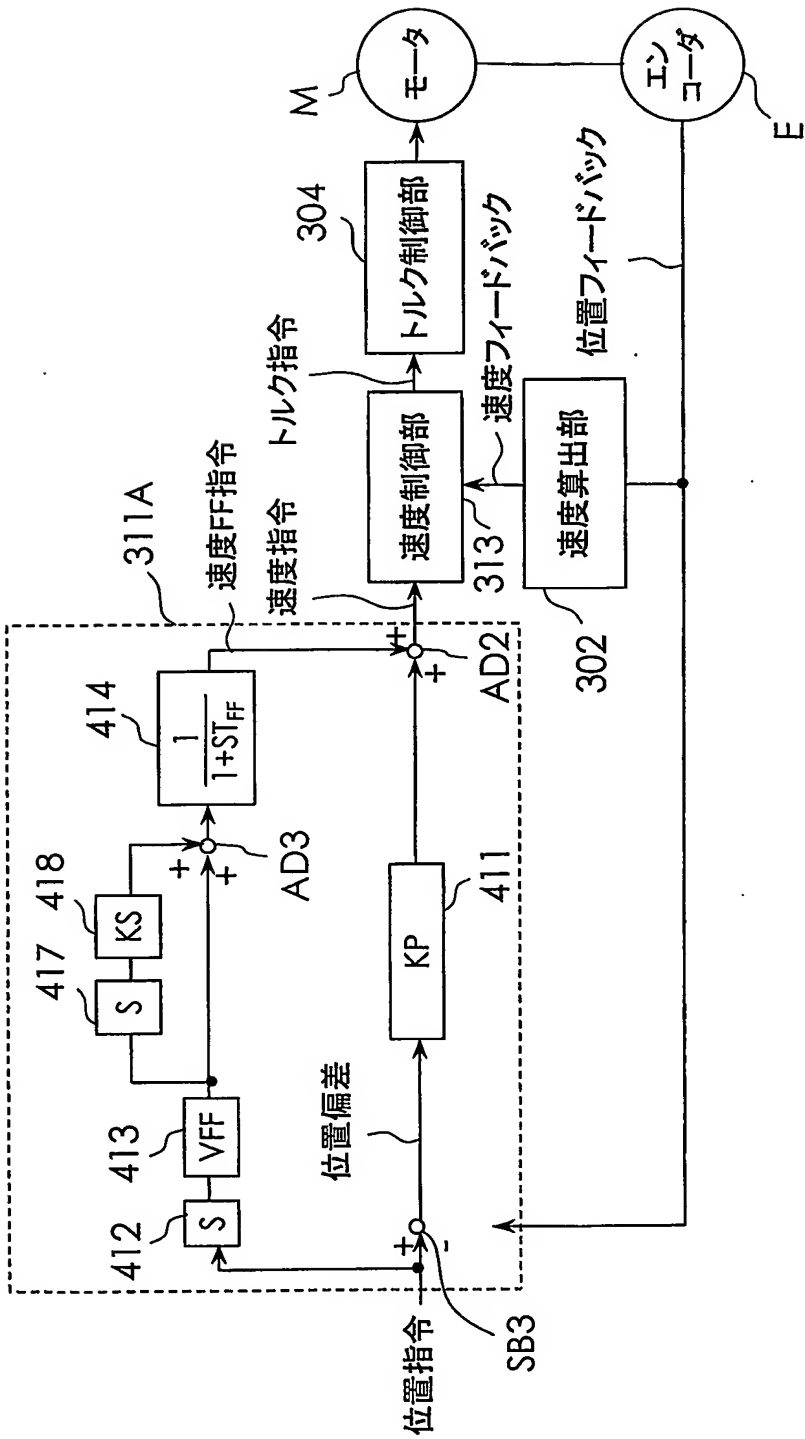


図 10

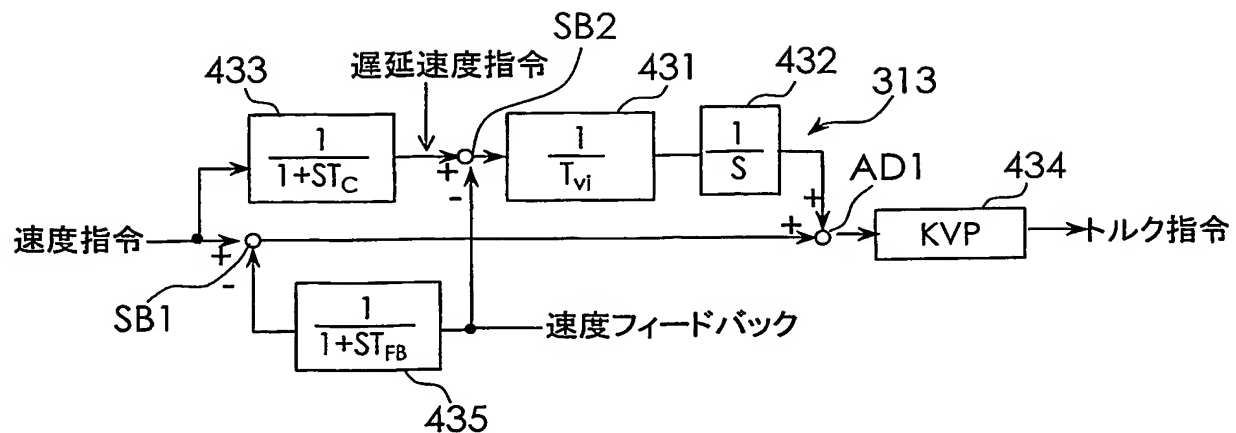


図 11

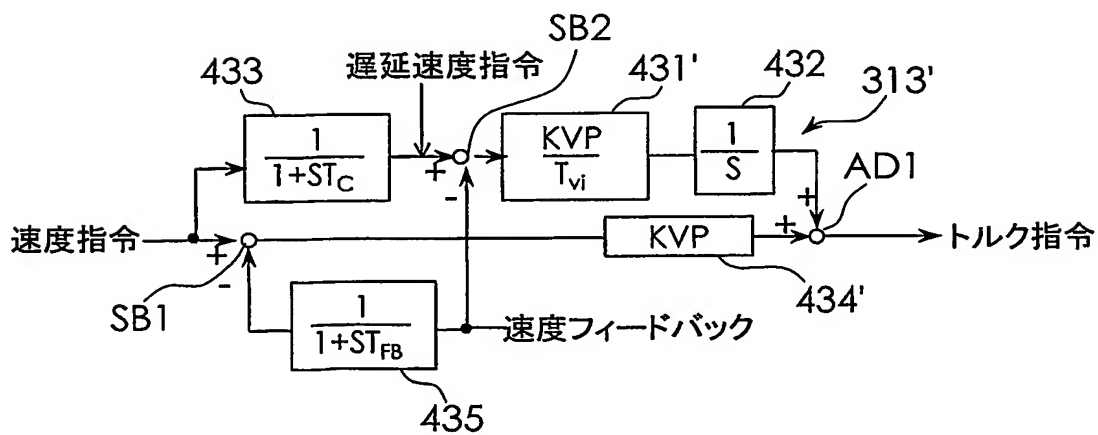


圖 12

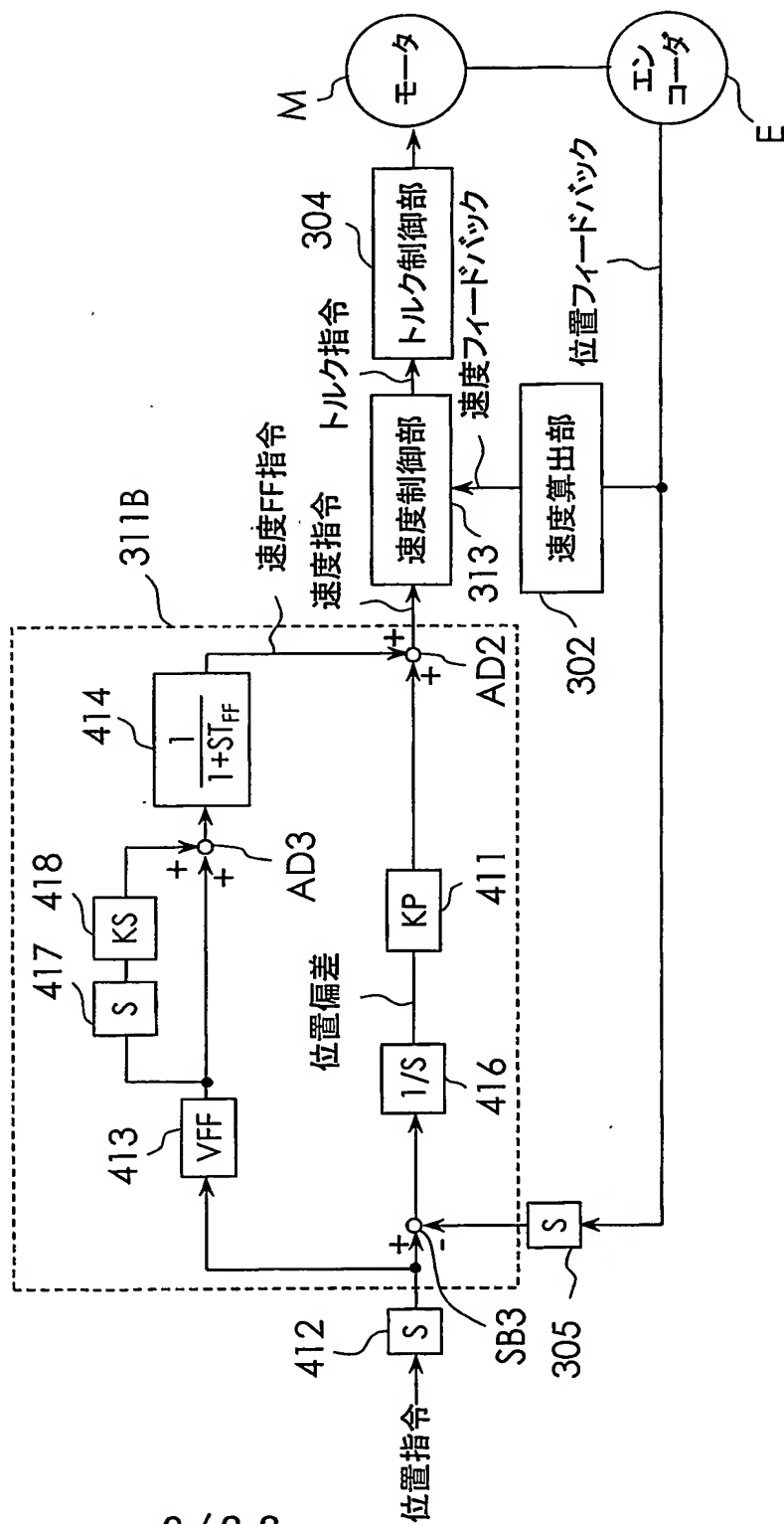


圖 13

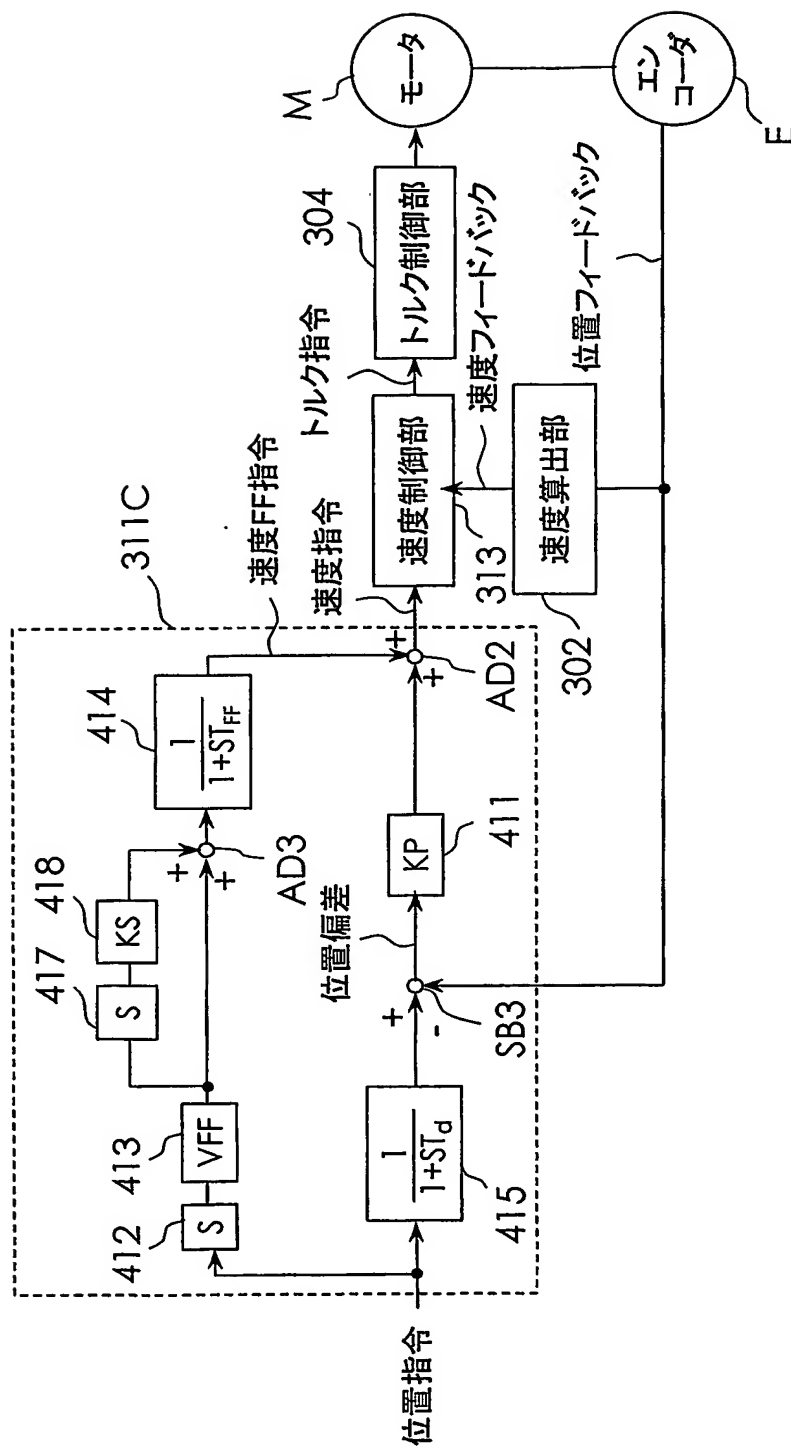


図 1 4

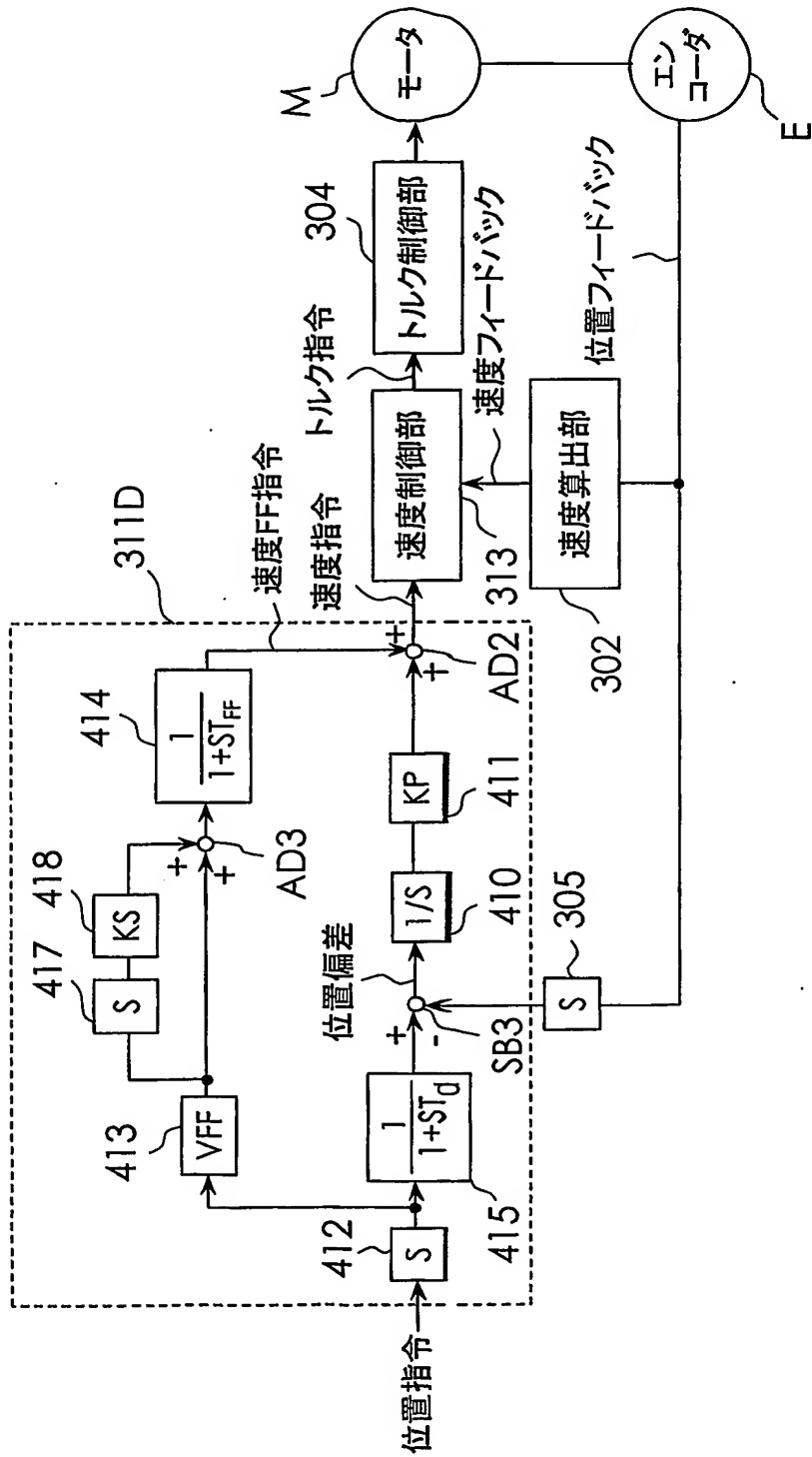
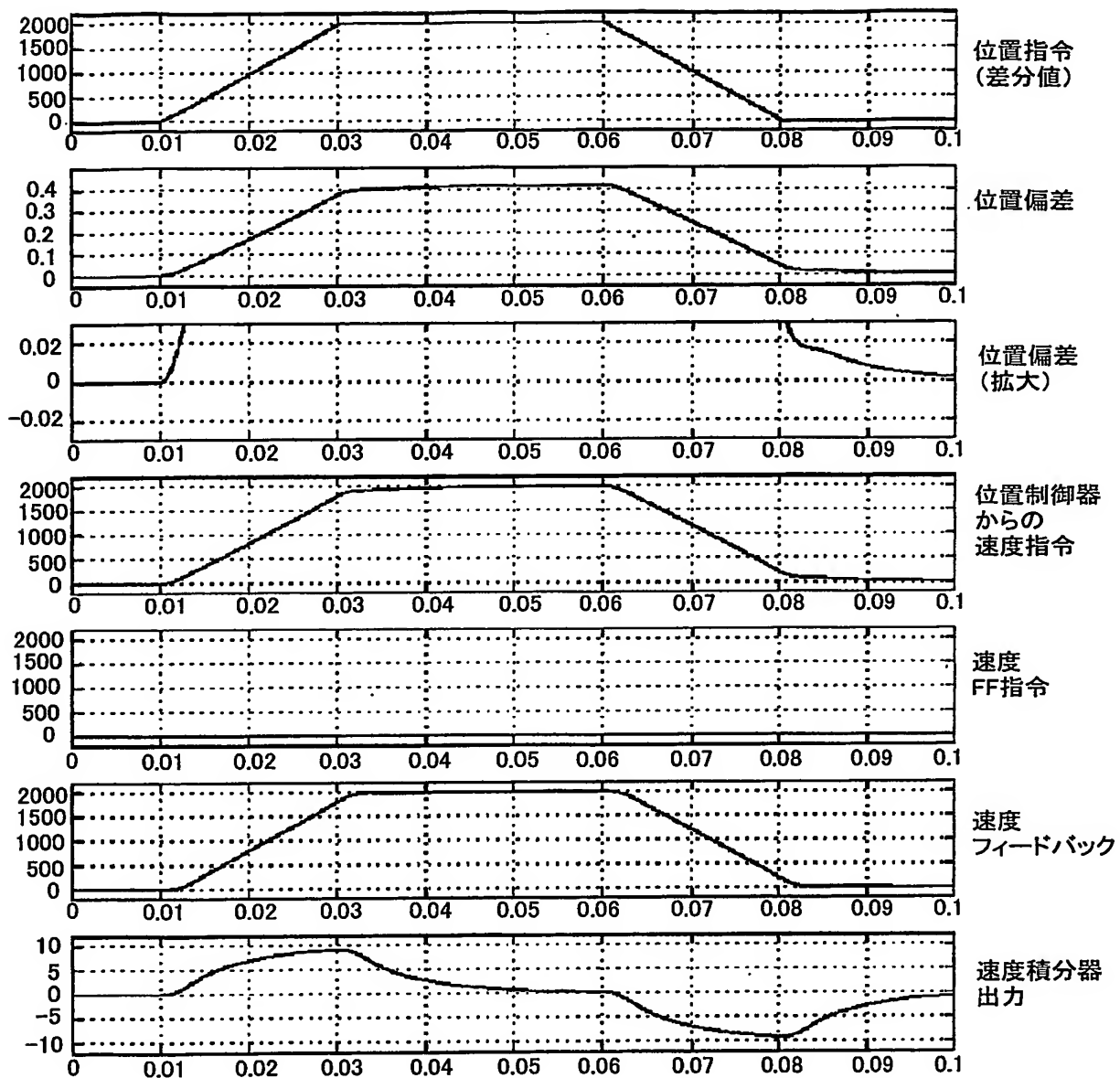
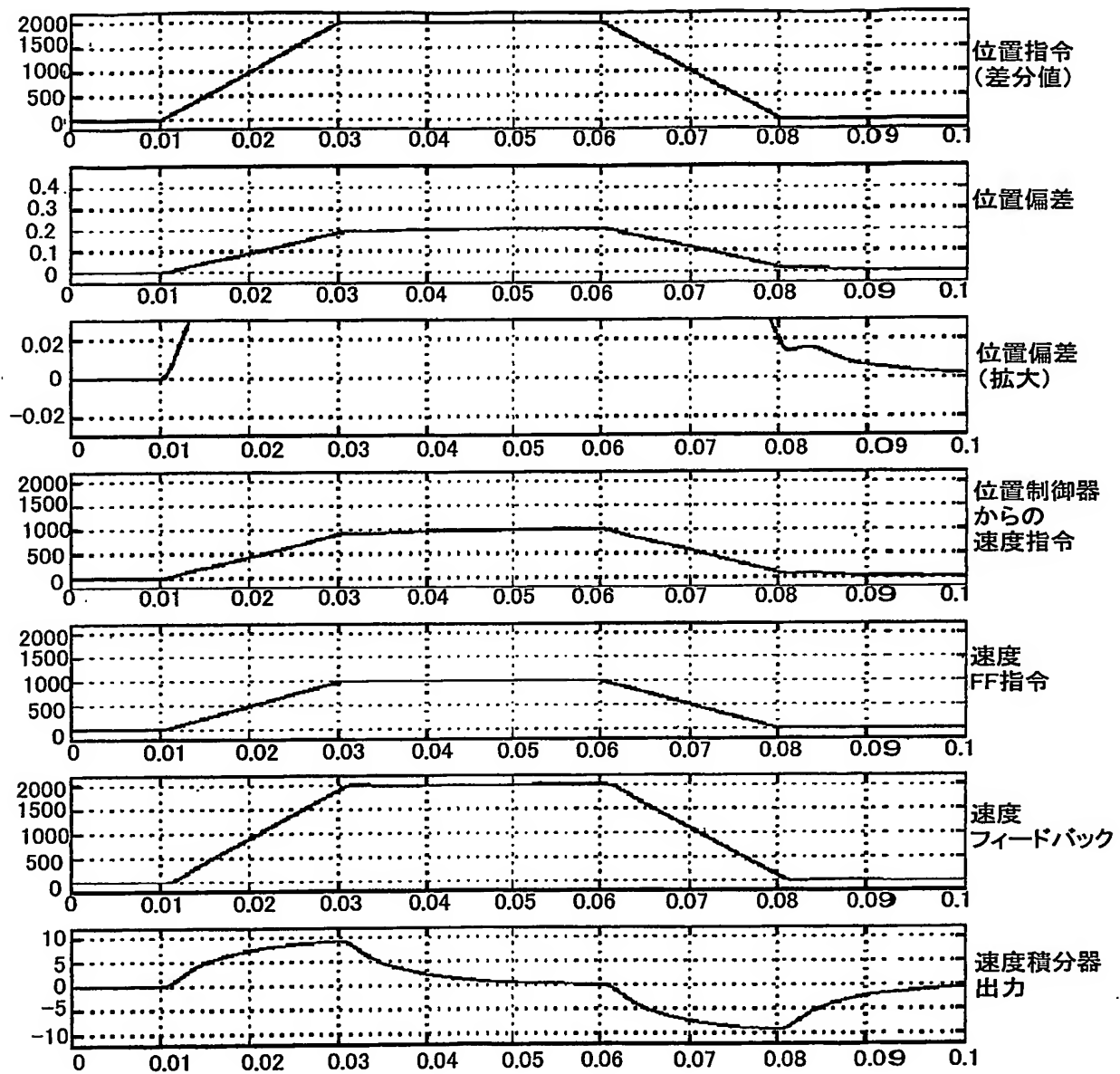


図 15



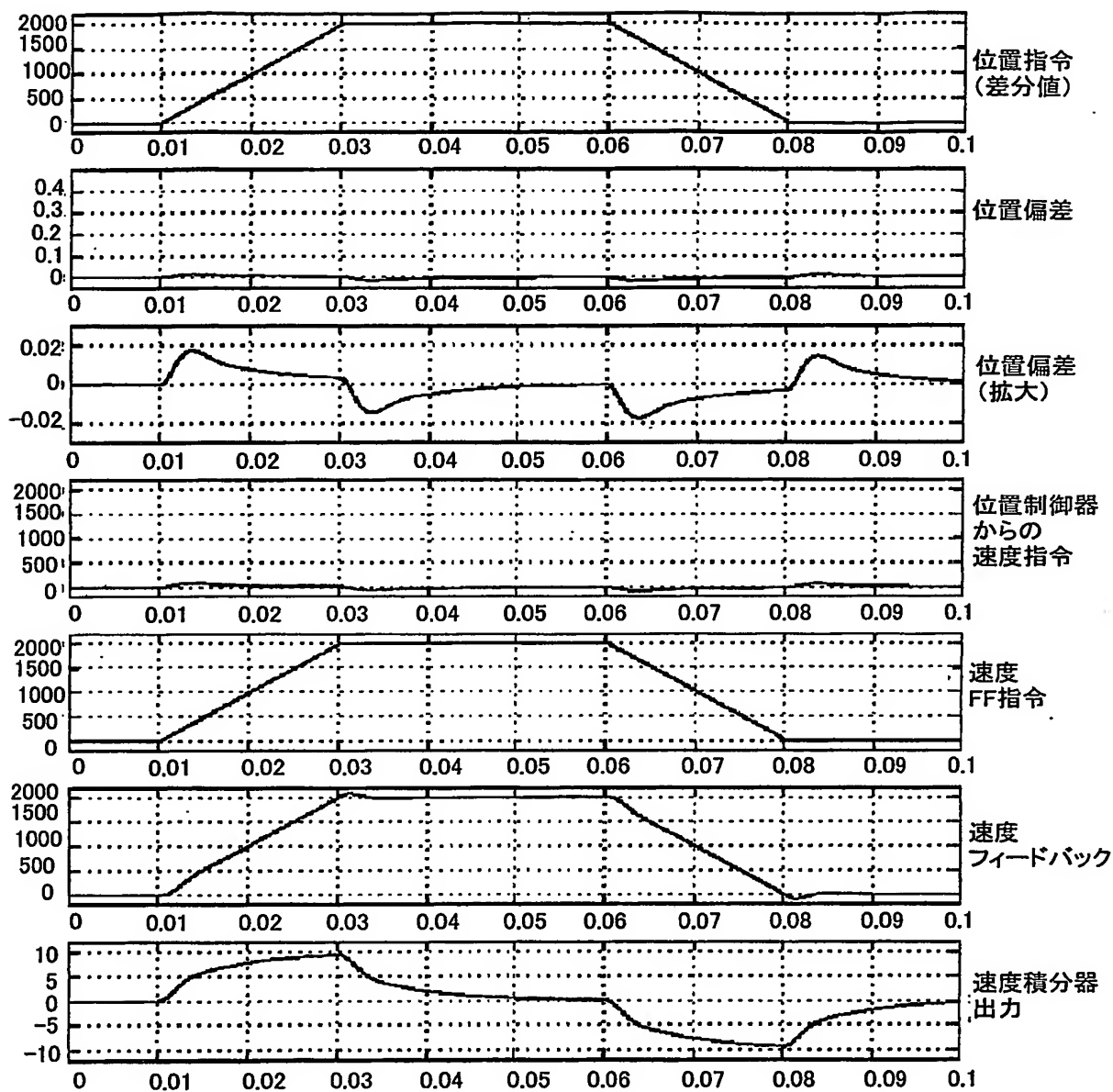
(フィードフォワード・ゲイン0%)

図 16



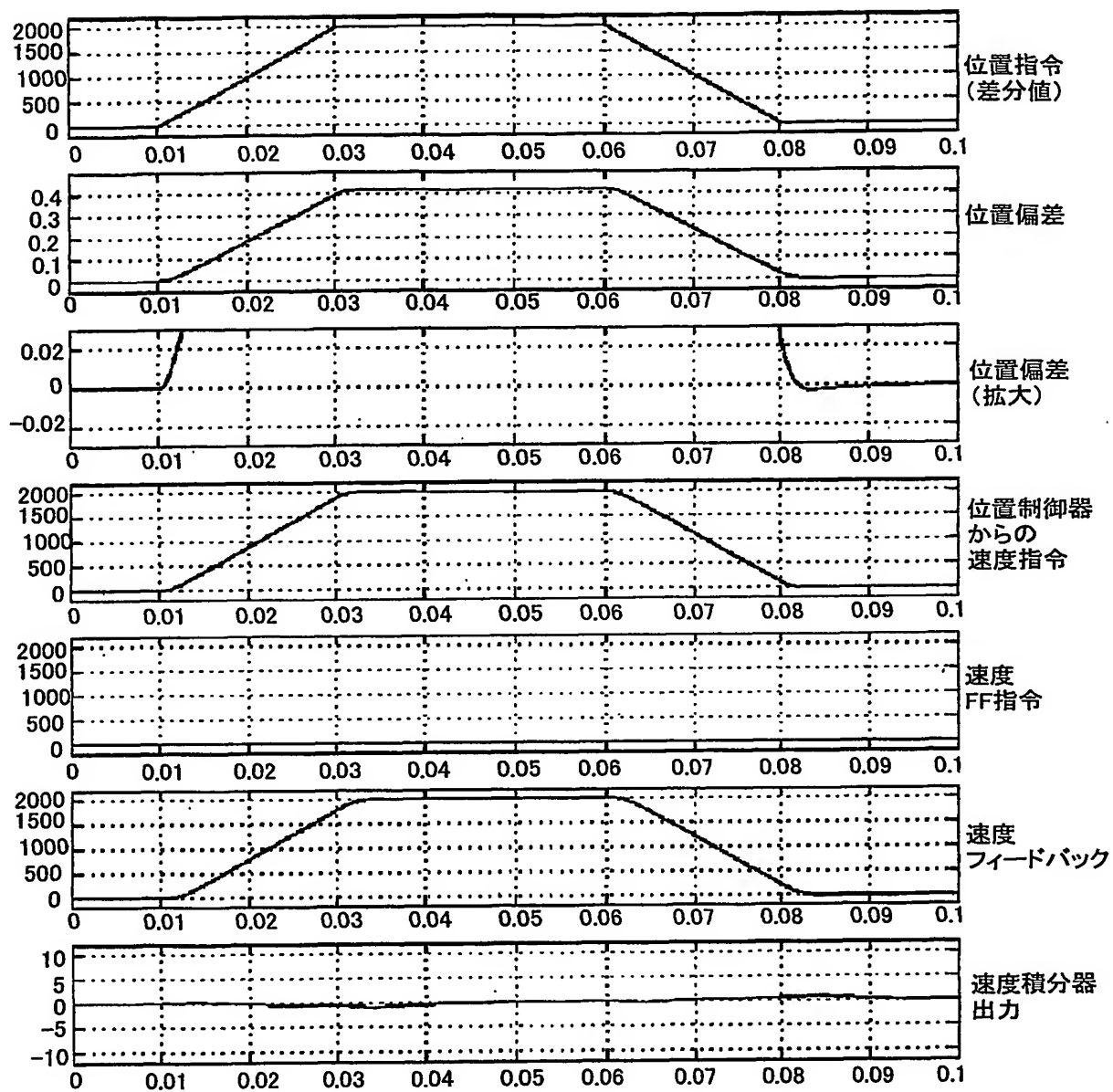
(フィードフォワード・ゲイン50%)

図 17



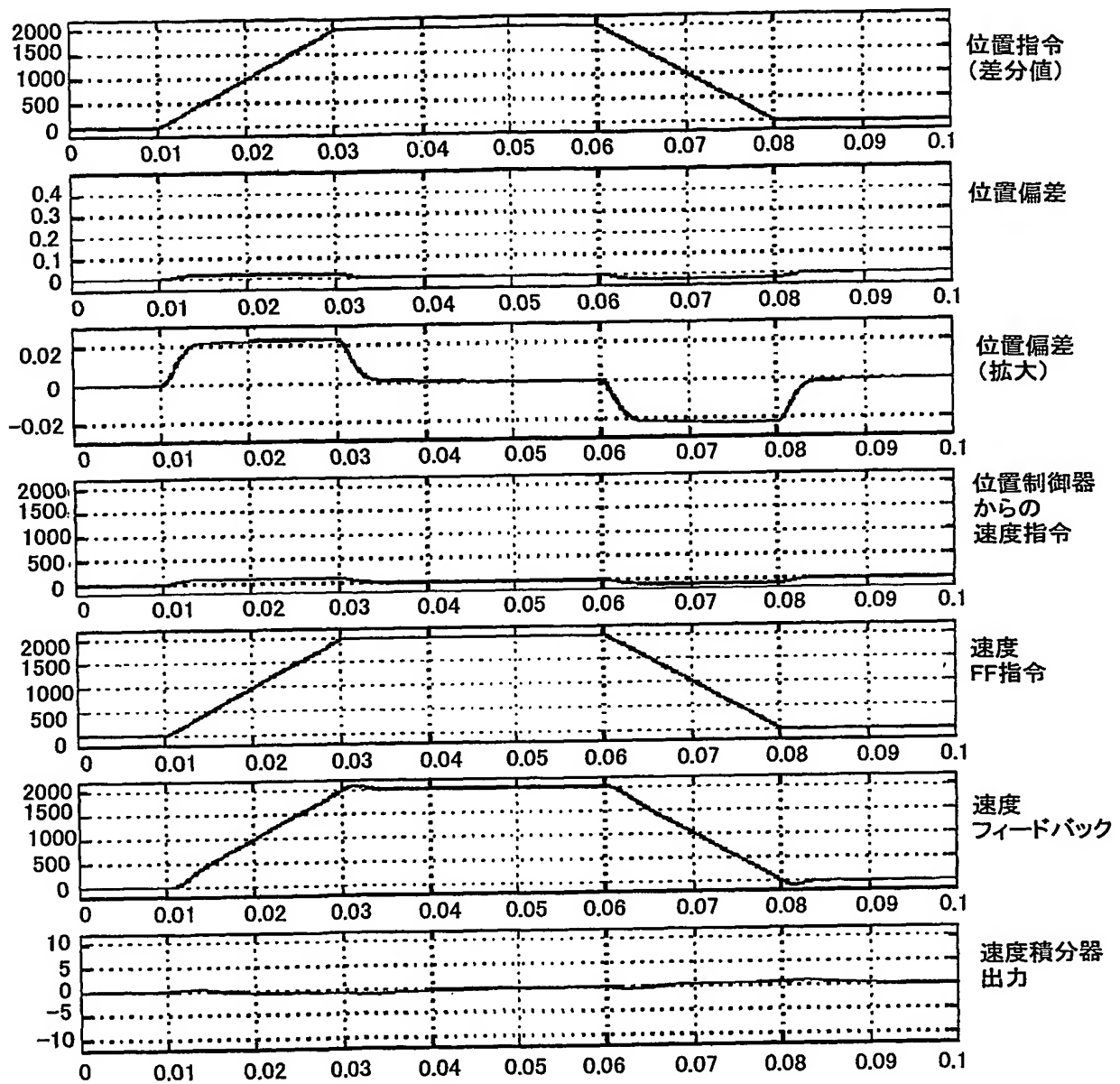
(フィードフォワード・ゲイン100%)

図 18



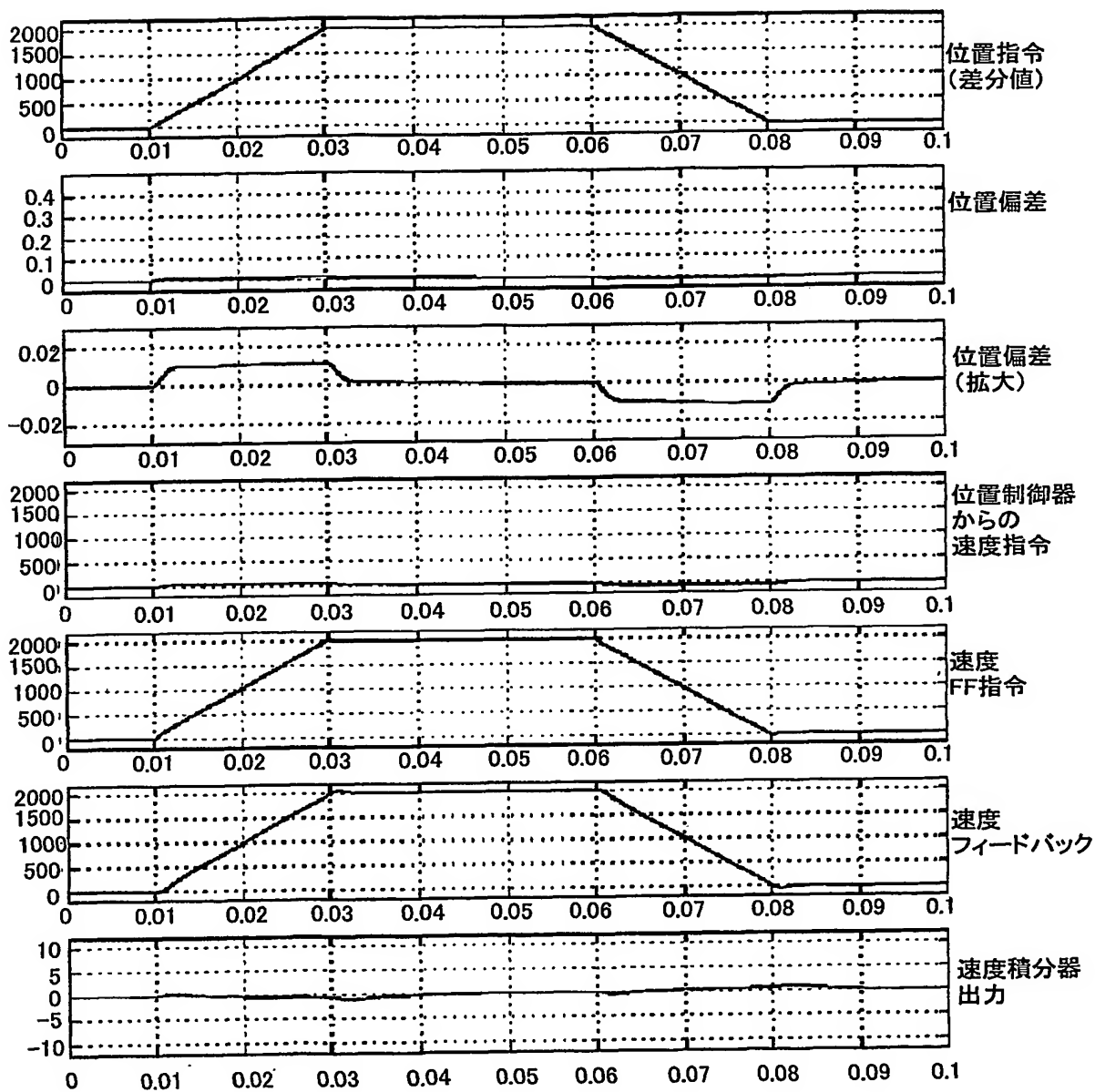
フィードフォワード・ゲイン0%
速度制御側遅れ補償ローパスフィルタ挿入

図 19



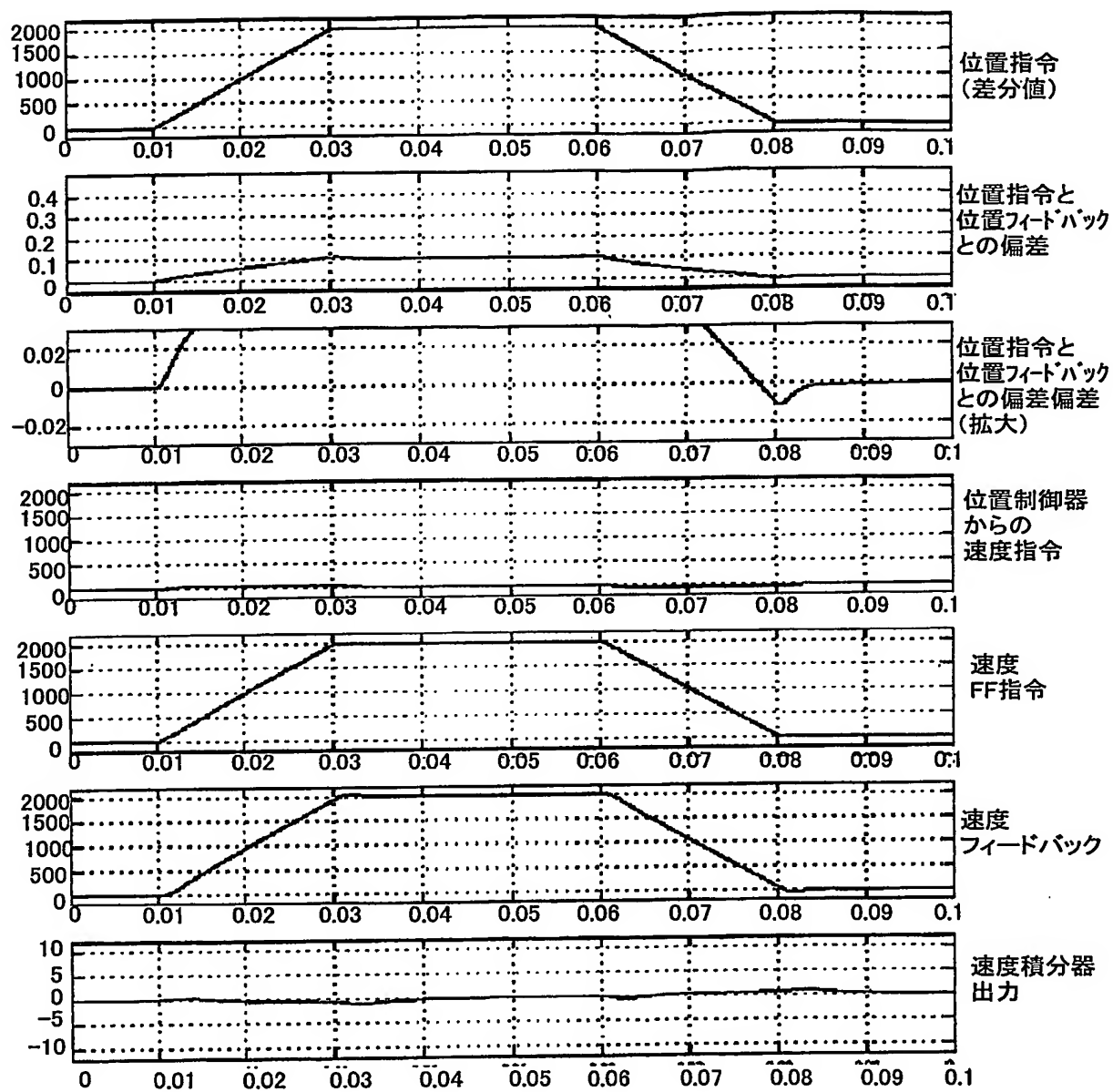
フィードフォワード・ゲイン100%
速度制御側遅れ補償ローパスフィルタ挿入
微分ゲイン0

図 20



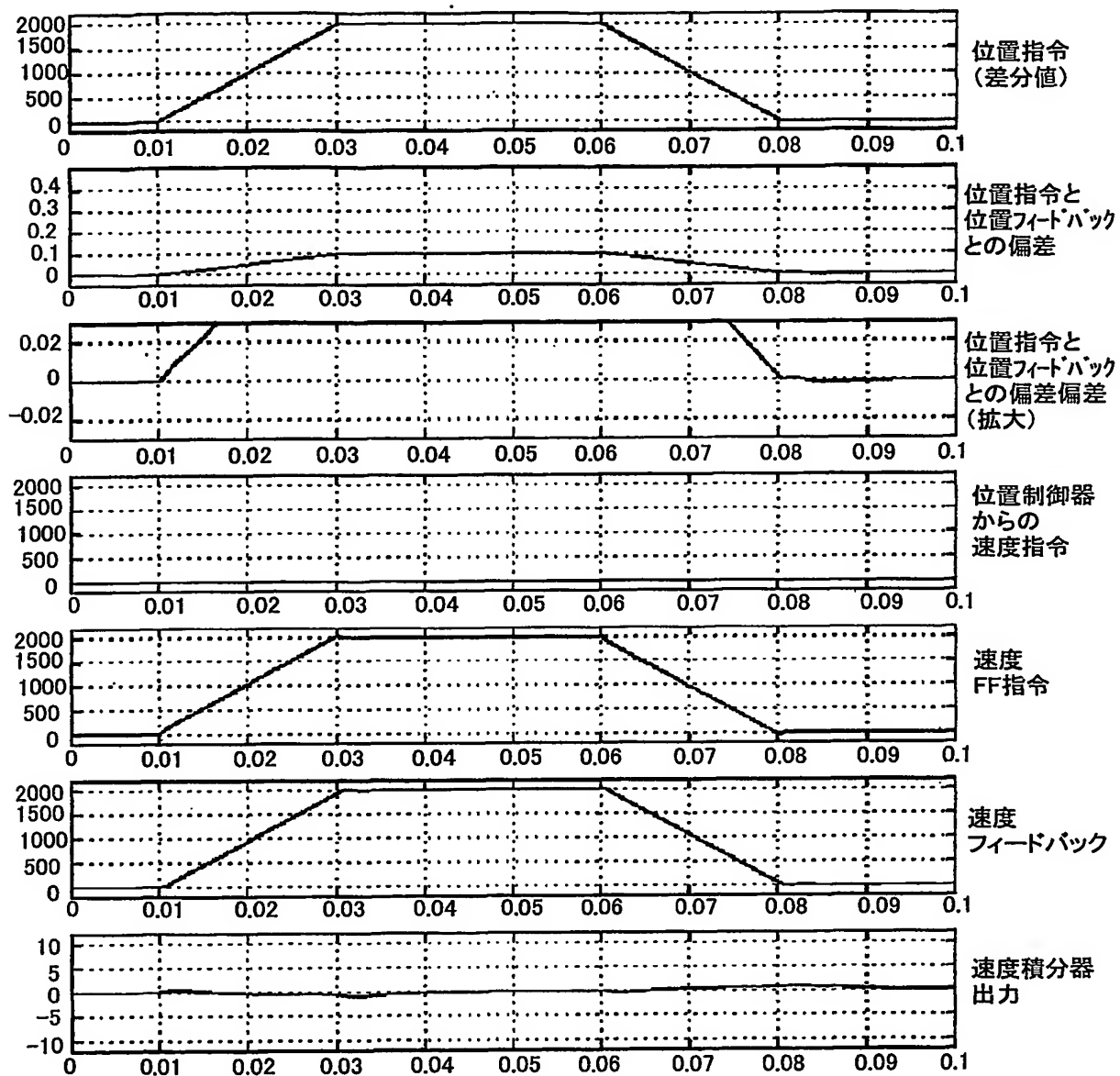
フィードフォワード・ゲイン100%
速度制御側遅れ補償ローパスフィルタ挿入
微分ゲイン挿入

図 2 1



フィードフォワード・ゲイン100%
 速度制御側遅れ補償ローパスフィルタ挿入
 微分ゲイン0
 位置制御側遅れ補償ローパスフィルタ挿入

図 2 2



(フィードフォワード・ゲイン100%
 連立制御側遅れ補償ローパスフィルタ挿入
 微分ゲイン挿入
 位置制御側遅れ補償ローパスフィルタ挿入)

図 23

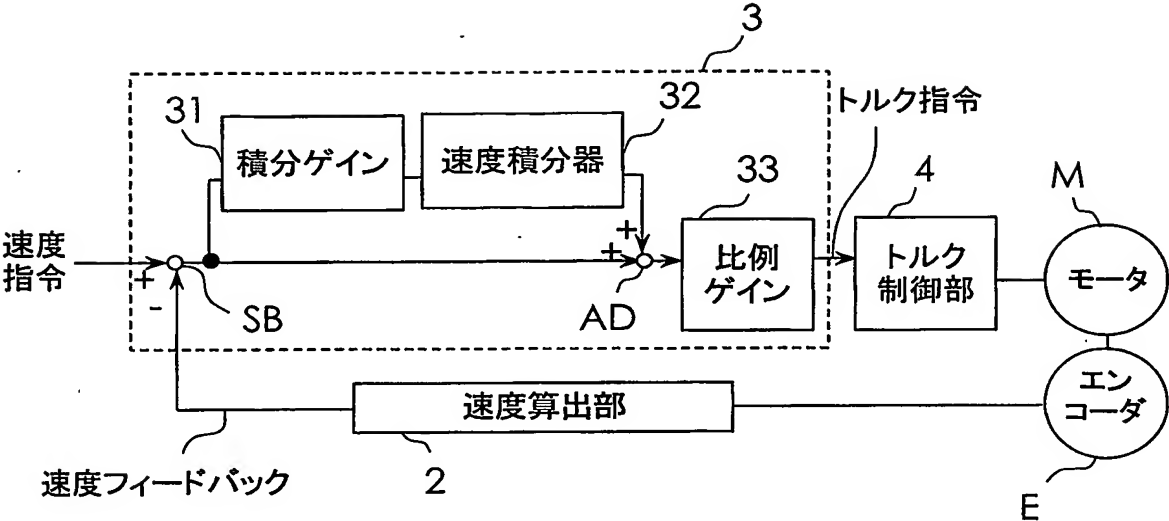


図 24

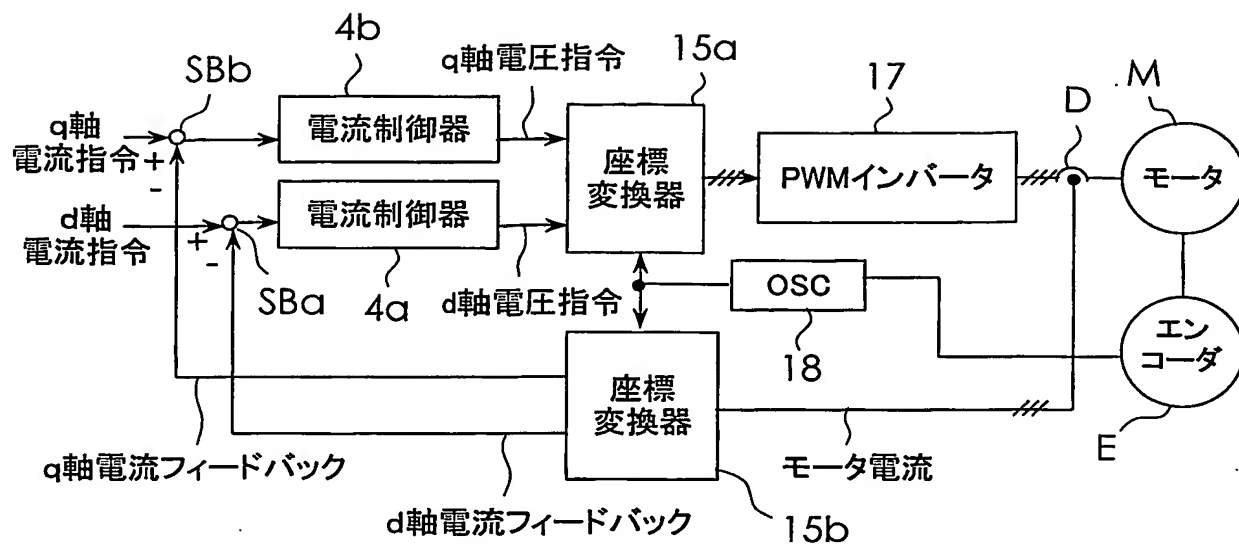


図 25

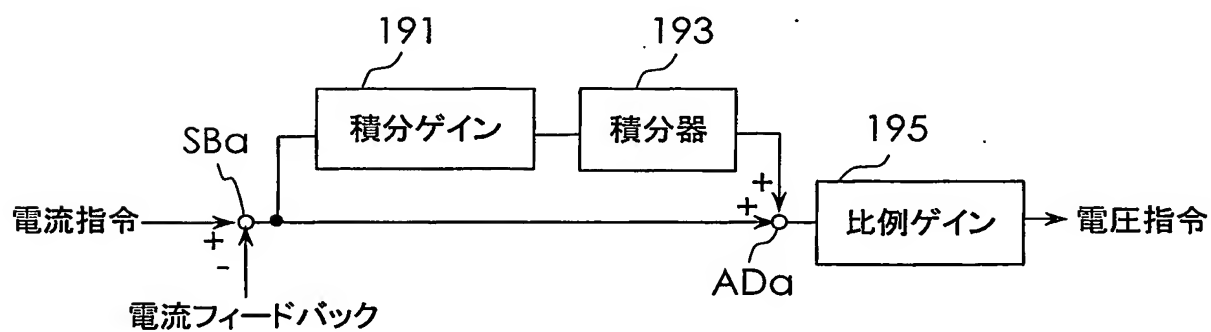


図 2 6

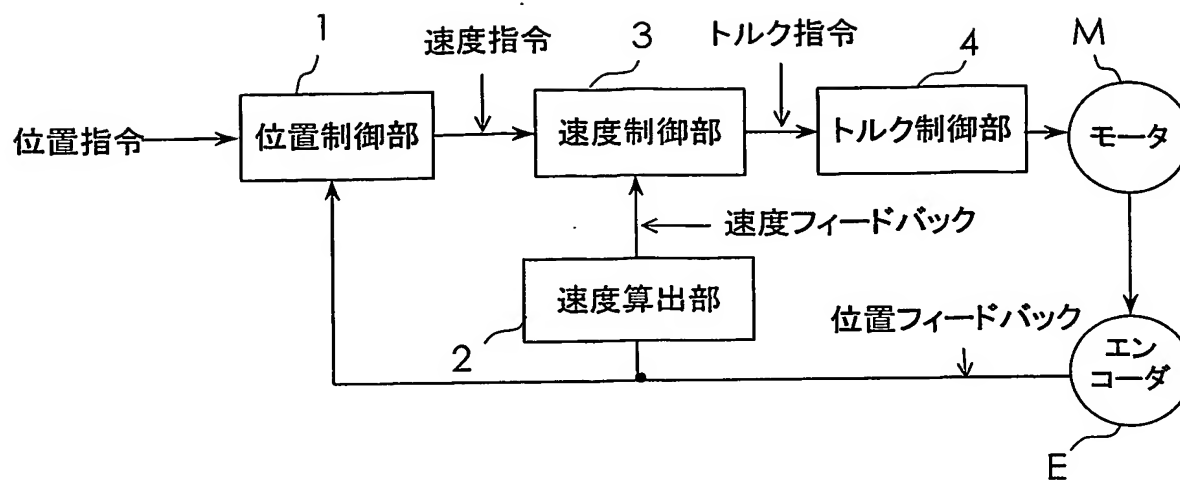
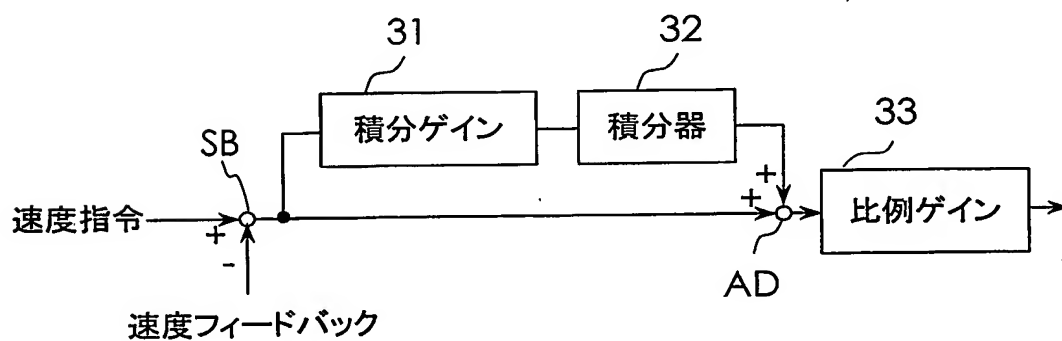


図 2 7



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/003566

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G05D3/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ G05D3/12, H02P5/00, G05B11/32

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2001-75650 A (Brother Industries, Ltd.), 23 March, 2003 (23.03.03), Full text (Family: none)	1-11
A	JP 2001-242904 A (Reliance Electric Ltd.), 07 September, 2001 (07.09.01), Full text (Family: none)	1-11
A	JP 10-254550 A (Yaskawa Electric Corp.), 25 September, 1998 (25.09.98), Full text & WO 98/40801 A1 & EP 0967535 A1 & US 6204622 B1	1-11

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
18 May, 2004 (18.05.04)

Date of mailing of the international search report
01 June, 2004 (01.06.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G05D3/12

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G05D3/12 H02P5/00 G05B11/32

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2001-75650 A (ブラザー工業株式会社) 23.03.2001, 全文, (ファミリーなし)	1-11
A	JP 2001-242904 A (日本リライアンス株式会社) 07.09.2001, 全文, (ファミリーなし)	1-11
A	JP 10-254550 A (株式会社安川電機) 25.09.1998, 全文 & WO 98/40801 A1 & EP 0967535 A1 & US 6204622 B1	1-11

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

18.05.2004

国際調査報告の発送日

01.6.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

梶本 直樹

3H

9819

電話番号 03-3581-1101 内線 3314